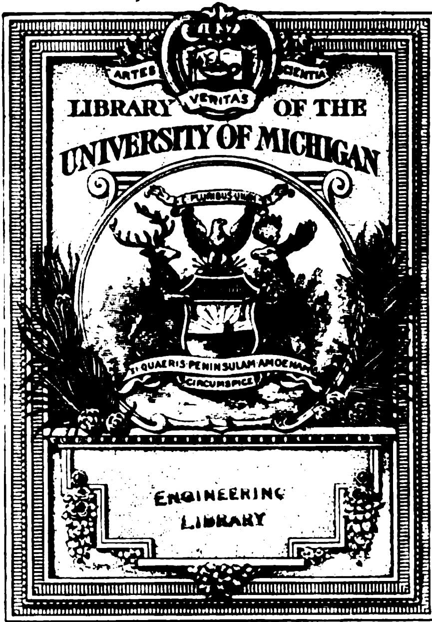

ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
ENGINEERING
LIBRARY



ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS.

5e SÉRIE.

TOME XI.

1876

1er SEMESTRE.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR ARNOUS DE RIVIÈRE ET C[e],
Rue Racine, 26, près de l'Odéon.

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR;

LOIS, DÉCRETS, ARRÊTÉS ET AUTRES ACTES

CONCERNANT

L'ADMINISTRATION DES PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS.

—

5e SÉRIE.

TOME XI.

—

1876

1er SEMESTRE.

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49.

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR.

N° 1

NOTES RECUEILLIES

DANS UNE MISSION EN ANGLETERRE (1874)

Par MM. POULET et LUNEAU, élèves-ingénieurs des ponts et chaussées.

ANALYSE ET EXTRAITS

Par M. GARIEL, ingénieur des ponts et chaussées (*).

I. — Nouveau rouleau compresseur pour cylindrage des chaussées.

Le rouleau à vapeur est employé à Paris depuis 1864 pour le cylindrage des chaussées macadamisées : depuis cette époque il n'a pas subi de changements importants.

(*) Il eût été désirable que ces articles fussent rédigés par MM. Poulet et Luneau. Leurs occupations ne le leur ayant pas permis, nous avons prié M. Gariel de vouloir bien s'en charger.

E. M.

Il est donc intéressant de connaître quelle est la dernière disposition qui a été adoptée en Angleterre pour cette sorte d'engin : nous nous occuperons du modèle construit en 1871 par MM. Aveling et Porter. Ces constructeurs, qui s'occupent d'une manière toute spéciale des locomotives routières, ont apporté aux rouleaux à vapeur des modifications assez notables ; nous ne parlerons pas des essais faits antérieurement, et nous nous bornerons à décrire le dernier type qui est actuellement en usage à Londres (*).

Auparavant, nous rappellerons en quelques mots la disposition des rouleaux à vapeur construits par M. Gellerat, pour la ville de Paris, tels qu'ils fonctionnent encore maintenant ; deux rouleaux cylindriques d'un diamètre de $1^m,55$, ayant une largeur de $1^m,50$, supportent un bâti métallique sur lequel sont installés une chaudière à vapeur, un cylindre et les divers organes qui constituent une machine à vapeur. Le mouvement de rotation du dernier arbre est communiqué à l'axe de l'un des cylindres par l'intermédiaire d'une chaîne sans fin : c'est la rotation de ce cylindre qui assure le déplacement de tout le système. Comme il est nécessaire que le rouleau ne repasse pas constamment sur la même piste, on peut transformer le parallélisme des axes des deux rouleaux compresseurs en une convergence que l'on fait varier à volonté entre certaines limites et qui permet de modifier la trajectoire de manière que le rouleau, étant arrivé à l'extrémité de sa course, puisse ne pas revenir sur le même espace exactement que celui qu'il a parcouru précédemment.

Ce rouleau est d'un poids considérable, 22.700 kilogrammes ; il est assez encombrant : ses déplacements latéraux présentent quelques difficultés provenant de la largeur

(*) Cet appareil a figuré à l'Exposition universelle de Vienne, en 1873. — Voir le *Rapport sur les travaux du génie civil*, par M. l'inspecteur général Kleitz, président du jury international du groupe XVIII. Paris, Imprimerie nationale, 1875, p. 88.

des cylindres en contact avec le sol; enfin il exige, pour tourner, un espace relativement assez considérable.

Voyons maintenant les dispositions du rouleau Aveling et Porter. Le système moteur, qui comprend une chaudière à vapeur A (Pl. 2, *fig.* 1 et 2), un cylindre à vapeur D, etc., est porté par un système de quatre roues: deux sont situées à l'arrière B, B; l'une d'elles est la roue motrice, elle reçoit le mouvement de l'arbre moteur par l'intermédiaire de roues d'engrenage. Ces deux roues sont montées sur le même essieu qui porte deux lames verticales en tôle E, E sur lesquelles repose la chaudière A à la partie postérieure. A la partie antérieure, la chaudière repose sur un avant-train formé de deux roues C, C' présentant une disposition très-spéciale. Ces roues sont légèrement coniques; leurs axes ne forment pas une ligne droite, mais viennent converger en F (*fig.* 3), de telle manière que les génératrices inférieures des surfaces coniques soient sur une même horizontale par laquelle se fait le contact avec le sol. En cet endroit les deux roues sont presque en contact; il en résulte qu'elles se trouvent écartées à la partie supérieure. La largeur de la partie par laquelle ces roues reposent ensemble sur le sol est un peu supérieure à la distance qui sépare les deux roues postérieures; par suite, lorsque la machine se déplace, une largeur de la chaussée égale à l'écartement des bords extérieurs des roues postérieures se trouve avoir subi le cylindrage. L'écartement des roues antérieures à leur partie supérieure permet le passage d'une tige cylindrique G, sorte de cheville ouvrière, qui, d'une part, vient reposer en F sur l'essieu de ces roues et, d'autre part, supporte l'extrémité antérieure de la chaudière: cette dernière liaison est d'ailleurs tellement disposée qu'elle permet le passage de cette double roue sur des chaussées dont la surface présente une certaine irrégularité.

Lorsque l'essieu HH de ces roues antérieures est paral-

lèle à celui des roues postérieures, le rouleau se meut en ligne droite; pour le dévier de cette direction, il suffit de faire tourner l'avant-train autour de la cheville ouvrière G. Pour cela, l'essieu de cet avant-train porte une pièce HH formée d'un fer cornière et sur laquelle viennent se fixer les extrémités d'une chaîne articulée II qui, d'autre part, passe sur une roue dentée J à axe vertical portée par le bâti de la machine. Par l'intermédiaire d'une tige MK portant à son extrémité une vis sans fin, le mécanicien peut communiquer à J un mouvement de rotation dans un sens ou dans l'autre, ce qui entraîne le déplacement de l'essieu HH. (Le dessin de l'appareil indique en NJ une autre disposition possible de cette tige motrice.) Il est donc facile de donner aux axes des deux essieux, comme pour les voitures ordinaires, telle inclinaison qui paraît nécessaire, ce qui, joint à ce fait que la roue B qui n'est pas motrice peut être folle sur son axe, permet d'obtenir de ce rouleau à vapeur telle déviation qui convient, par exemple de lui faire effectuer une rotation sur lui-même.

Le poids de ce rouleau est de 8 tonnes; la largeur des roues motrices B est de $0^{m},329$, celle des roues directrices de $0^{m},431$: la largeur maxima, celle de la partie cylindrée par les unes ou par les autres, est de $1^{m},42$; ce rouleau peut donc passer dans les routes les plus étroites : nous avons dit d'ailleurs qu'il tourne avec facilité; il pourra donc être amené sur une route quelconque.

La force nominale de la machine à vapeur employée est de 5 chevaux-vapeur : cette machine marche à volonté dans un sens ou dans l'autre, afin que le cylindrage puisse s'effectuer à l'aller et au retour sans qu'il soit nécessaire de faire tourner le rouleau.

Cette machine paraît habilement construite pour satisfaire au service qu'on en exige; une seule remarque nous semble devoir être faite : le roulement des roues coniques directrices ne peut s'effectuer comme celui de cylindres,

de telle sorte qu'au roulement doit se joindre, sur une certaine étendue, un glissement qui, bien que n'étant pas bien considérable, amène un frottement sur l'importance duquel nous ne sommes pas renseigné.

Le rouleau Aveling et Porter n'est pas seulement destiné à cylindrer les chaussées, il a pour but de faciliter les divers travaux qui se rapportent à la construction et à l'entretien des routes : il peut être employé comme locomotive routière; un anneau P, placé à l'arrière, permet d'y accrocher divers chariots qui transporteront au lieu d'emploi les matériaux et le matériel nécessaire : la facilité avec laquelle on dirige ce rouleau est alors fort avantageuse. D'autre part, lorsque la machine est arrêtée, on peut désembrayer les roues motrices B; un volant V, calé sur l'arbre qui porte la manivelle motrice, peut alors être entouré par une courroie sans fin qui communiquera le mouvement à tel appareil qu'il conviendra d'utiliser, par exemple à une machine à casser les pierres, machine qui est assez employée en Angleterre, où l'on en trouve de divers systèmes.

Le rouleau Aveling et Porter paraît donc, indépendamment de ses qualités comme compresseur, pouvoir rendre des services réels comme locomoteur ou comme moteur mi-fixe.

II. — L'Albert Bridge.

La construction d'un pont suspendu à Chelsea, vers l'extrémité ouest de Londres, avait été décidée dès 1864. L'exécution du projet fut retardée par diverses circonstances; mais les travaux, commencés en 1872, ont été poussés avec rapidité, et le pont a été ouvert le 23 août 1873. Ce pont paraît être la plus récente application d'un système connu en Angleterre sous le nom de système Or-

dish. Ce système, qui sous certains rapports rappelle les ponts suspendus modernes de l'Amérique, en diffère cependant par le mode d'action des haubans, d'une part, et d'autre part, par le système d'ancrage. Ces deux particularités sont d'ailleurs complétement indépendantes l'une de l'autre, et nous les décrirons séparément.

Les ponts suspendus américains diffèrent essentiellement des ponts suspendus qui ont été construits en France par l'introduction de poutres longitudinales, propres à assurer la rigidité du tablier, et par l'addition de haubans destinés à mieux assurer la fixité des points d'attache du tablier en même temps qu'à soulager les câbles de suspension. Nous laissons ici de côté les moyens de contreventement destinés à diminuer les oscillations latérales.

Comme nous le dirons tout à l'heure, le tablier rigide est adopté dans le système Ordish ; mais le rôle des haubans est modifié et perfectionné, à ce qu'il semble : c'est aussi sur ce point qu'il paraît nécessaire d'insister.

On sait que, dans la plupart des ponts suspendus d'Amérique, au câble supportant des tiges verticales fixées au tablier à des distances régulières et prenant sous ces influences multiples la forme d'une parabole qui éprouve des déformations lorsqu'une charge mobile se meut sur le pont, se trouvent joints des haubans qui, fixés d'une part à des supports sensiblement invariables, vont, sous une inclinaison plus ou moins considérable, s'attacher par leur autre extrémité au tablier, augmentant ainsi dans une certaine mesure l'invariabilité de position de ce point d'attache.

Mais, en réalité, un hauban tendu entre le point fixe A du support (Pl. 2, *fig.* 8) et le point C du tablier ne prend pas la forme d'une ligne droite AC; par suite de son poids même, il s'incurve et présente l'aspect d'une courbe ADC, la chaînette. Lorsqu'un excès de charge est appliqué en C, il en résulte, sinon un redressement absolu du hauban, au moins

une diminution de courbure qui l'amène en AD'C', produisant ainsi un abaissement notable CC' du point C.

Il est clair que si, primitivement, le hauban eût été strictement une ligne droite, un abaissement du point C n'eût été possible que par suite d'un *allongement* du hauban et non pas seulement par suite de son *redressement :* on conçoit sans peine que pour produire le même déplacement du point considéré C, il eût fallu une force bien plus considérable dans le cas de l'allongement que par le redressement, ou que, inversement, une même charge eût donné dans le premier cas un abaissement du point C bien moindre que dans le second. Il serait donc très-avantageux d'avoir des haubans rectilignes, ou du moins s'écartant peu de cette forme. C'est ce à quoi M. Ordish arrive en employant un câble MN (*fig.* 9) de suspension dont l'une des fonctions principales est de maintenir rectiligne le hauban AC en soutenant en divers points par les tiges verticales HH', II', KK'; c'est là ce qui caractérise absolument ce système.

Nous pouvons maintenant arriver à la description générale du pont : il se compose d'une travée centrale de 120 mètres et de deux travées latérales de 46,50; le tablier est soutenu par deux poutres rigides s'étendant d'une manière continue d'une rive à l'autre. Chaque poutre (*fig.* 5) est supportée : 1° par un câble de suspension qui, partant de l'une de ses extrémités où il est relié solidement à l'appareil d'ancrage, s'élève en décrivant une courbe jusqu'au sommet d'une colonne en fonte de 25 mètres de hauteur au-dessus du tablier; en cet endroit il passe sur une selle mobile sur des rouleaux de friction, puis redescend de l'autre côté jusqu'au milieu du pont où il vient affleurer la poutre, pour décrire symétriquement de l'autre côté une trajectoire analogue; ce câble soutient les extrémités supérieures de tiges de fer qui, par leurs extrémités inférieures, sont reliées à la poutre et contribuent à sa rigidité; 2° par

des haubans qui, partant du sommet du même support, se dirigent en nombre égal de chaque côté vers des points également espacés le long du tablier. Ces haubans sont d'ailleurs roidis, rendus rectilignes ou à peu près, parce qu'ils sont supportés en divers points par les tiges verticales qui partent du câble de suspension déjà décrit. Disons enfin que pour diminuer l'amplitude des oscillations latérales, le système du câble, des tiges de suspension et des haubans correspondant à l'une des poutres n'est pas vertical, mais est incliné à 1/10 environ sur la verticale (*fig.* 7).

Il convient maintenant d'examiner avec quelques détails chacun de ces éléments principaux.

Il existe deux points d'appui dans la largeur de la rivière, puisqu'il y a trois travées ; les poutres et le tablier sont cependant continus d'une extrémité à l'autre. Comme nous le dirons, ils passent dans les piles sans y être reliés. Les poutres sont hautes de 2^m,25 ; leur longueur est de 213 mètres ; elles ont une flèche de 1/70 environ, de telle sorte que leur élévation au-dessus du niveau des hautes mers est de 5 mètres au droit des culées, tandis qu'il est de 6^m,30 sur l'axe. Chaque poutre, dont l'inclinaison transversale sur la verticale est de 1/7 environ (*fig.* 10), présente une semelle inférieure en tôle dont l'épaisseur, de 9 millimètres au milieu du pont, va en croissant jusqu'aux piles où il y a 4 tôles de 12 millimètres superposées : cette dernière épaisseur se maintient dans les travées latérales sur 36 mètres ; au delà elle est réduite à 3 tôles semblables ; la largeur est uniformément de 0^m,40 ; l'âme de la poutre est une tôle de 25 millimètres ; la semelle supérieure est o mée d'une tôle et est surmontée d'une main courante. Cette poutre, dans sa moitié supérieure, présente des rosaces découpées qui contribuent à l'ornementation. Des cornières réunissent les diverses parties.

Les deux poutres sont espacées de 11^m,70 à la partie

inférieure et de $12^m,35$ à la partie supérieure : la chaussée a une largeur de $8^m,10$; elle est accompagnée de deux trottoirs de $1^m,95$; ces parties correspondent à peu près à la moitié de la hauteur des poutres ; elles sont supportées par des entretoises inférieures de $0^m,75$ en forme de double T et placées à $2^m,40$ les unes des autres ; leur partie supérieure a la forme d'un solide d'égale résistance. Des contrevents (*fig.* 6) s'opposent à toute déformation latérale.

Chacune de ces poutres repose, d'une part sur les culées et, en outre, en deux points de leur longueur sur les piles : cette dernière *suspension* est disposée de manière à permettre certaines modifications dans la direction de ces poutres : c'est un simple point d'appui.

Chaque pile est constituée par deux cylindres en fonte complétement séparés, si ce n'est à la partie supérieure ; chaque cylindre se compose d'anneaux de fonte superposés ; l'anneau inférieur, taillé en biseau, a $7^m,50$ de diamètre extérieur, $1^m,35$ de hauteur et 34 millimètres d'épaisseur : il repose sur le London Clay à plus de 11 mètres au-dessous du niveau des hautes mers ; les anneaux supérieurs vont en diminuant et le diamètre n'est plus que de $4^m,50$ au sommet. Ces cylindres sont remplis de béton. A leur sommet ils laissent un vide de 12 mètres supérieur à la largeur du tablier, mais ce vide est diminué par la saillie d'une sorte de chapiteau sur lequel s'appuient les poutres de rive. Au-dessus s'élèvent les tours jusqu'à 25 mètres environ au-dessus du tablier : ces tours se composent d'une partie centrale creuse, en fonte, entourée de 8 colonnettes en fonte, creuses également ; ces colonnettes sont reliées à la partie centrale par des plaques de fonte placées horizontalement de distance en distance. Vers leur partie supérieure, ces tours sont reliées et contreventées par un arc en fonte : le tout est ornementé dans le style gothique (*fig.* 7 et 23).

Le câble, d'un diamètre de $0^m,152$, est en fil d'acier ; il est

composé de torons rectilignes réunis par un fil enroulé d'un diamètre moindre. Il est continu d'un bout à l'autre du pont : au milieu, il est absolument fixé dans un cylindre à serrage, composé de deux pièces et posé sur la main courante, et est relié à la partie inférieure de la poutre de rive par des tiges de fer (*fig.* 18).

Il s'élève à partir de ce point en décrivant une courbe et supportant à des distances égales des tiges de suspension : cette courbe, qui n'est pas dans un plan vertical, a son sommet à la partie supérieure de la tour à 26^m,70 au-dessus des hautes mers; la flèche est de 18^m,15, soit environ 1/7. Le câble passe sur une selle circulaire reposant sur des galets et présentant une inclinaison convenable : il est serré invariablement par un boulon; il descend vers l'extrémité de la poutre en présentant des dispositions analogues, et vient se fixer autour d'un axe creux placé en ce point et traversé par un boulon dont le rôle sera expliqué plus tard (*fig.* 24 et 25).

Les tiges de suspension sont espacées de 6 mètres, elles sont en fer de 0^m,09 de diamètre, et vont se fixer à la partie supérieure des poutres de rive, après s'être mises en rapport avec les haubans.

Ces haubans partent d'une selle placée sur la tour au-dessous de celle décrite plus haut : ils sont au nombre de 7 de chaque côté, mais, sauf le premier, ils sont groupés par deux de telle sorte qu'il y a en résumé 4 haubans. La selle d'où ils partent présente une inclinaison latérale rendue nécessaire par leur direction inclinée; elle est à 3 mètres au-dessous de la selle d'appui du câble. Les haubans se terminent à la poutre à des distances égales de 12 mètres; ils font avec l'horizontale des angles respectivement égaux à 58° 30′, 39° 30′, 29° et 23° : ils sont symétriquement placés par rapport à la pile. Si l'on remarque que le milieu de la poutre est retenu directement par le câble, on voit que le longeron présente un point d'appui tous

les 12 mètres, indépendamment des points d'appui fournis par les tiges de suspension. Enfin, à leurs points de rencontre avec les tiges de suspension, ces haubans leur sont reliés invariablement (*fig.* 20, 21 et 22), de manière à présenter une direction presque rectiligne. Ces haubans ont respectivement des longueurs de 22^{m},80, 28^{m},50, 38^{m},40 et 49^{m},50. Les sections sont dans le même ordre : 36, 48, 65 et 81 centimètres carrés. Le dernier hauban, qui se dirige vers l'extrémité de la poutre, vient se terminer au boulon qui traverse déjà l'anneau terminal du câble (*fig.* 24 et 25) ; les autres s'attachent à des boulons placés au quart inférieur du longeron, boulons qui forment le centre de rosaces constituant un motif ornemental.

Les haubans sont en tôle : l'assemblage des diverses feuilles est obtenu par des rivets, et elle correspond au point où ces haubans sont reliés avec les tiges de suspension ; ces diverses dispositions ont pour effet d'augmenter leur rigidité.

Le câble se projette au droit des piles, sur l'axe des tours à 1^{m},70 du longeron, en conséquence de l'inclinaison du système du câble et des haubans, tandis que sur l'axe, ce câble est en contact avec le longeron.

Il convient de remarquer que le câble étant fixé invariablement de chaque côté à l'extrémité de la poutre, sa tension est équilibrée par la rigidité même de cette poutre ; ce pont est ainsi presque en équilibre comme une sorte de poutre armée, et le câble est maintenu dans sa position sans qu'il soit nécessaire de l'amarrer solidement. Comme, cependant, le passage de charges mobiles sur la travée centrale aurait pour effet de relever les extrémités des poutres, celles-ci sont fixées dans le sol en arrière des culées à l'aide de boulons qui prennent naissance à leur partie supérieure au point où viennent s'attacher le câble et le dernier hauban (*fig.* 26). Ce boulon descend verticalement dans un cylindre de fonte de 0^{m},90 de diamètre, jusqu'à 9^{m},60 environ

au-dessous du sol de la chaussée; à ce niveau où se trouve l'ancrage par lequel l'extrémité inférieure du boulon est reliée au cylindre; celui-ci s'élargit jusqu'à avoir $1^{m},50$ de diamètre, ce qui permet la visite de cette partie importante du pont. Le cylindre de fonte est noyé extérieurement dans un massif de béton dont le poids s'ajoute à celui du métal pour résister à l'effort vertical exercé par le tablier; comme il n'y a pas de composante horizontale à équilibrer, le poids du massif d'amarrage peut être beaucoup inférieur à ce qu'il est dans les ponts suspendus du système primitif.

Dans les calculs qui se rapportent au pont que nous décrivons, il paraît que l'on n'a compté en aucune façon sur la résistance du câble, si ce n'est comme soutenant le point milieu du tablier; la rigidité des poutres et du tablier, la fixité presque absolue des pointes d'attache des haubans roidis et maintenus rectilignes par les tiges de suspension sont seules entrées en ligne de compte : l'influence de la suspension du tablier par le câble est une cause d'augmentation de solidité qui assure plus complétement l'invariabilité du système. Le rôle spécial et restreint attribué au câble justifie le mode d'ancrage qui serait inadmissible dans le cas où le câble retient seul ou presque seul le tablier. Il résulte de là aussi que la grandeur de la flèche a moins d'importance que dans les ponts suspendus ordinaires : cependant, afin de diminuer la tension à laquelle le câble est soumis, M. Ordish a donné à cette flèche une assez grande valeur relative : par une raison analogue, il convenait d'avoir des haubans qui ne fussent pas trop inclinés, ce qui entraînait naturellement à élever notablement le point d'attache supérieur de ces haubans sur les tours.

L'Albert Bridge est, à ce qu'il paraît, le troisième pont construit en Europe dans le système Ordish; les deux premiers ont été jetés sur la Moldau (Autriche) en 1868 et 1869 : le premier, plus considérable, se trouve à Prague et est connu sous le nom de *pont François-Joseph*. Dans

cet ouvrage, le rapport de l'ouverture de la travée centrale à la flèche du câble est de $8^m,20$; il n'est que de $6^m,60$ dans l'Albert Bridge, tandis qu'il atteint $14^m,04$ pour le pont du Niagara.

Indépendamment du journal de mission de MM. Poulet et Luneau dans lequel nous avons trouvé la plupart des détails qui précèdent, nous avons utilisé le journal de mission de M. Pérouse, qui avait été envoyé en Angleterre en 1872, et qui avait déjà signalé l'intérêt qui s'attache au pont suspendu de Chelsea.

III. — Comble de la station de Saint-Pancrace (Midland Railway), à Londres.

La station de Saint-Pancrace est le terminus dans Londres du Midland Railway; jusqu'en 1870 cette compagnie, dont tout le monde connaît l'importance et la physionomie originale (*), n'avait pas de gare dans la capitale de la Grande-Bretagne : elle résolut d'en avoir une qui égalât, et même surpassât celles des autres compagnies. Cette gare présente des particularités intéressantes à divers égards, que nous allons faire connaître d'après un mémoire présenté par M. Barlow, qui fut chargé de sa construction, à la société des ingénieurs civils de Londres.

La ligne du Midland entre dans Londres par un tunnel sous Haverstock Hill et vient se terminer près de Euston Road, dans la paroisse de Saint-Pancrace, et non loin de la gare du Great Northern Railway (King's Cross Station). La voie passe au-dessus du Regent's Canal avant d'atteindre la gare dont le sol se trouve à une hauteur variant de $3^m,60$ à $5^m,10$ au-dessus des terrains et des rues avoisinants. D'autre part, et à une certaine distance, un embranche-

(*) Voir le *Rapport de mission* de M. l'ingénieur en chef Malézieux : *Annales* 1874, 1er sem., p. 13.

ment à double voie quitte la ligne principale et, descendant d'une manière continue, passe sous le Regent's Canal, puis sous la ligne principale et sous la gare même, et va rejoindre à quelque distance le Metropolitan Railway près de King's Cross Station.

Décrivons maintenant la gare même : elle présente un étage inférieur, rez-de-chaussée, au niveau du terrain environnant, et un étage supérieur, plate-forme qui constitue la station proprement dite.

L'étage inférieur, qui s'étend sur un espace de 72 mètres sur 210 environ, forme un vaste magasin pour la manutention des marchandises. Le plancher qui le recouvre et qui supporte les voies et les quais de la gare est constitué par des poutres en tôle placées les unes parallèlement, les autres perpendiculairement à l'axe et recouvertes de tôles bombées, système Mallet (Pl. 3, *fig.* 7, 10 et 11). Il y a 15 poutres longitudinales et 49 transversales : ces poutres qui, par leurs extrémités, s'appuient sur les murs, sont supportées à leur point de croisement par 720 colonnes en fonte (*fig.* 7, 10, 11 et 12). Les colonnes reposent sur des dés en pierre placés à la partie supérieure de piliers de briques descendus jusqu'à une profondeur d'environ $4^m,50$ au-dessous du sol. La hauteur de cet étage inférieur est de $4^m,10$: ses dimensions et ses dispositions sont absolument analogues à celles des celliers à bière ; cette gare est en effet chargée du trafic de la bière de Burton en quantité considérable. Ce rez-de-chaussée communique directement par des voies de raccordement avec la ligne principale ; d'autre part, des appareils de levage, mus par la pression de l'eau, permettent d'établir des communications directes avec l'étage supérieur. Enfin, sur les rues voisines et dans tout l'espace qui n'était pas nécessaire au chemin de fer, des boutiques ont été disposées entre les murs de la gare et ces rues.

La gare proprement dite, constituant l'étage supérieur,

offre une surface couverte de 72 mètres sur 210 comprenant un certain nombre de voies séparées par des quais d'embarquement et de débarquement, et par une partie accessible aux voitures. La toiture, que nous allons décrire tout à l'heure avec quelques détails, repose directement sur les murs qui limitent la gare sans supports intermédiaires. A l'extrémité nord se trouvent les bâtiments de la station et un hôtel, suivant une disposition assez semblable à celle des gares de Cannon Street, de Charing Cross et de Victoria Station; seulement les bureaux des billets sont situés sur le côté de la gare et non à l'extrémité de la plate-forme. Des bureaux supplémentaires occupent cependant cette dernière position pour les cas de grande foule.

La toiture est supportée par 25 fermes en tôle, d'une portée de 72 mètres, écartées de 9 mètres environ d'axe en axe. Ces fermes sont constituées par deux arcs à deux centres chacun (de $17^{m},10$ et de 48 mètres de rayon) se rencontrant au sommet en formant un angle assez obtus; la hauteur sous clef au-dessous des naissances est de 30 mètres; chacune d'elles est formée d'une poutre tubulaire (*fig.* 14, 15 et 16) ayant dans toute son étendue une largeur de $1^{m},83$, mais dont les dimensions transversales diminuent depuis les naissances jusqu'à une certaine hauteur à partir de laquelle elles restent constantes. Chaque ferme est en tôle pleine jusqu'à une hauteur de $8^{m},50$ environ et, au-dessus, elle est constituée par une poutre en treillis. A la naissance, la ferme présente une augmentation de largeur notable par laquelle elle repose sur les murs de l'étage inférieur: elle est d'ailleurs invariablement reliée à cette maçonnerie par l'intermédiaire de 4 boulons en fer de $6^{m},50$ encastrés à leur partie inférieure à l'aide de pièces spéciales d'ancrage en fonte.

Cet arc métallique, d'une grande portée, présente beaucoup de rigidité non-seulement par suite de la force des poutres qui le constituent, mais encore parce que, aux

naissances, ses extrémités sont reliées par l'une des poutres qui supportent le plancher de la station, poutre faisant ainsi fonction de tirant (*fig.* 12).

Les diverses fermes sont réunies à partir d'une certaine hauteur par une série de poutres horizontales portant des chevrons sur lesquels porte la toiture : des tiges obliques reliant ces fermes assurent un contreventement énergique. La toiture s'appuie en outre sur des tympans ornés en fonte portés par chaque ferme et se terminant sur les murailles qui limitent latéralement la gare. Sur la moitié de la hauteur environ, la toiture est constituée par des ardoises fixées sur un platelage en bois ; mais, dans la partie supérieure, un vitrage donne un éclairage considérable dans la gare. Ce vitrage est formé par des vitres fixées dans des châssis en bois, de manière à présenter transversalement des pentes dirigées alternativement dans un sens et dans l'autre. Chacune des lignes de faîte ainsi déterminée présente dans toute son étendue une partie complétement ouverte, mais recouverte à distance d'une lame métallique recourbée, de manière à assurer une large ventilation, tout en empêchant la pluie de pénétrer dans la gare (*fig.* 8 et 9). Sur ce vitrage sont disposés des passages ou échelles qui permettent d'enlever ou de poser facilement une vitre en un point quelconque.

La plate-forme de la gare non-seulement est mise en communication avec l'étage inférieur comme nous l'avons dit et avec les rues avoisinantes par l'intermédiaire de la voie carrossable qui pénètre le long des quais ; mais, en outre, des dispositions spéciales ont été prises pour le débarquement direct du charbon à l'aide des appareils les plus perfectionnés tant sur Saint-Pancras Road et sur Cambridge Street que sur le canal voisin.

La surface couverte paraît plus considérable encore qu'elle ne l'est, par ce fait que rien n'obstrue la vue : cette gare n'est cependant pas la plus grande de celles

qui sont à Londres, comme le montre le tableau suivant :

NOM du chemin de fer.	NOM de la station.	SURFACE COUVERTE comprise entre les murs
		mètres carrés.
London and North Western.	Euston Station.	2.150
Great Northern.	King's Cross Station. . .	2.120
Midland.	Saint-Pancras Station. . .	1.750
South Eastern.	Cannon Street.	1.290
	Charing Cross Station. . .	825
Great Western.	Paddington Station. . . .	2.675
	Victoria Station environ.	3.715

La toiture est terminée à ses deux extrémités par deux panneaux vitrés ou écrans supportés par trois poutres horizontales à treillis de $1^m,80$ de hauteur reliées entre elles et aux fermes extrêmes par des poutres verticales du même genre.

Le poids de l'une des fermes peut être évalué comme suit :

	tonnes.
Poids des retombées d'un arc.	19
Poids de l'arc en treillis.	35
Poids total.	54

Le prix peut s'établir de la manière suivante :

	francs.
Tôle de la ferme.	25.345
4 boulons d'amarrage.	1.225
4 pièces de fonte pour ancrage.	615
2 bases en fonte.	310
2 tympans ornés en fonte.	810
Total.	28.305

L'érection de la toiture s'effectua à l'aide de deux échafaudages en charpente formés chacun de trois parties susceptibles de se mouvoir séparément. Ces échafaudages, d'une grande solidité et qui avaient 12 mètres de large, contenaient environ 1.000 mètres cubes de bois et 80 tonnes de ferrures ; chacun d'eux pesait 580 tonnes à vide, et 650 lorsqu'ils portaient, avec deux fermes, les ouvriers et les appareils de levage nécessaires à la manœuvre. Le passage de ces échafaudages, qui se mouvaient à l'aide de

roues sur le plancher de la gare, constituait ainsi pour celui-ci une épreuve sérieuse de sa solidité.

Voici comment on procédait à la mise en place des fermes : les retombées des arcs (poutres tubulaires en tôle pleine) étaient d'abord mises en place à peu près, le mur en briques sur lequel elles devaient reposer étant maintenu à $0^m,90$ en contre-bas de son niveau définitif. Ces retombées étaient alors fixées à leur position exacte à l'aide d'étais et de coins : on les rivait aux poutres transversales du plancher qui leur servent de tirants, puis le mur était continué jusqu'à sa hauteur en briques bleues du Staffordshire posées sur des lits de ciment de Portland. On procédait alors à la mise en place de la poutre en treillis qui était divisée en segments de $5^m,40$ de longueur environ : ces pièces, portées par l'échafaudage, étaient mises en place provisoirement jusqu'à ce que la ferme fût complète. Ce n'était qu'alors, après avoir rectifié et assuré la position de chaque segment, qu'on les rivait entre eux et avec les annes ou autres pièces de la toiture.

Le temps nécessaire pour poser une ferme après que les retombées étaient fixées fut de six jours en moyenne : les quatorze dernières fermes furent posées en dix-sept semaines, y compris les retards occasionnés par les mauvais temps, le manque des approvisionnement, etc.

L'ajustement des diverses fermes fut très-satisfaisant : le plus grand abaissement constaté au sommet d'une ferme fut de $0^m,007$, la moyenne de $0^m,005$. Plusieurs fermes avaient été complétement posées avec la toiture et le vitrage avant que les murs ne fussent élevés à la hauteur qu'ils devaient avoir : dans ces conditions défavorables, on n'observa aucun mouvement sensible, bien que la construction ait eu à supporter plusieurs coups de vent assez considérables. Ces considérations firent renoncer à une épreuve directe de la toiture qui avait été spécifiée dans le cahier des charges.

Les fermes ont été calculées de manière à pouvoir supporter, outre leur poids, une charge de 340 kilog. par mètre carré en plan sans que la pression dépassât $4^k,8$ par millimètre carré, ou ce qui revenait au même, une charge de 272 kilog. par mètre carré en plan avec une pression maxima de $4^k,10$ par millimètre carré.

En faisant le calcul dans la première hypothèse et en remarquant que, aux naissances, la ligne de pression forme avec l'horizontale un angle de 55°, on trouve que la pression est de $4^k,6$ aux naissances et de $2^k,6$ seulement au sommet.

Le prix de la couverture peut s'évaluer ainsi :

	francs.
Pour 25 fermes avec boulons de fondations, ancrage, etc.	707.975
Pour la couverture, vitrage, etc.	657.400
Pour les deux panneaux vitrés (écrans).	368.750
Total.	1.734.125

L'aire couverte en plan étant de 15.754 mètres carrés, la dépense rapportée au mètre carré est :

	francs.
Pour 25 fermes, etc.	44,95
Pour la couverture, etc.	41.75
Pour les écrans.	23.40
Total.	110,10

Il convient de remarquer que le prix des poutres du plancher qui jouent le double rôle de supports de la plate-forme et de tirants des fermes n'est pas compris dans cett évaluation : si elles n'avaient pas existé, les tirants qu'il eût fallu adopter eussent augmenté la dépense de $2^f,65$ par mètre carré.

Le projet de la toiture, qui est la partie importante de cette gare, est dû à M. W. H. Barlow, assisté de M. Ordish ; les bâtiments ont été construits sur les plans et sous la surveillance de M. Gilbert Scott ; enfin, les travaux d'érection des fermes et de la toiture ainsi que l'entreprise de cette

partie ont été exécutés par la Bütterley Company, sous la direction de sir G. J. N. Alleyne.

Pour compléter cette étude sommaire, il convient d'indiquer au moins les motifs qui firent adopter les dispositions dont nous avons rendu compte.

L'espace à couvrir ayant une largeur de 72 mètres, on dut hésiter entre un comble sans points d'appui intermédiaire, ou un comble avec un point d'appui au milieu de l'intervalle. Cette dernière disposition aurait conduit à placer une rangée de colonnes dans l'axe de la gare : outre les inconvénients qui eussent été la conséquence de ces obstacles, en empêchant la construction d'une voie suivant l'axe de la gare, chaque colonne, par la place qu'elle occupe directement et par celle qu'il convenait de laisser libre alentour, eût perdu un espace notable, et l'on eût dû supprimer une voie ou diminuer la surface des quais.

Ces colonnes eussent présenté d'autres inconvénients non moins graves : il eût fallu les prolonger dans le rez-de-chaussée avec un diamètre supérieur à celui des autres colonnes ; les intervalles, calculés d'après les dimensions des barriques de bière, eussent été insuffisants dans le voisinage de ces colonnes qui eût présenté des parties non utilisables pour la manutention des marchandises ; d'autre part, un certain nombre de ces colonnes se fussent trouvées au-dessus du tunnel qui règne sous une partie de la gare : il eût fallu en ces points une plus grande résistance dans le tunnel. Au contraire, l'adoption des fermes sans point d'appui intermédiaire laissait libre la surface couverte tout entière, permettait telle disposition qui paraissait utile pour la répartition des quais et des voies ; tous les supports de l'étage inférieur pouvaient être d'un modèle unique, ce qui diminuait la dépense et facilitait les assemblages. D'autre part, l'augmentation de force, et par suite de prix résultant de ce projet, était contre-balancée par les avantages suivants : le rapport de la montée de l'arc à l'ou-

verture étant de 2/5 au lieu de 1/5 que l'on adopte le plus souvent, la poussée horizontale était considérablement diminuée (elle est à peu près la même pour cet arc de 72 mètres, avec une montée de 30 mètres que pour un arc de 36 mètres, avec une montée de 7^{m},50); la naissance des fermes étant reportée au niveau de la plate-forme, les murs latéraux n'ayant pas à résister à la poussée au vide, pouvaient être moins épais; les murs de fondation eux-mêmes ne se trouvaient pas soumis aux pressions alternatives résultant de l'action des variations de température sur les tirants, pressions qui ne sont jamais annulées malgré l'existence des rouleaux de dilatation: ici, la poutre qui fait fonction de tirant se trouvant enfouie sous le ballast, conserve toujours sensiblement la même température. Puis la ferme unique, faite en tôle avec rivets, est un travail courant analogue à celui des ponts de chemins de fer: elle économise les tirants en fer, bielles en fonte, les tendeurs à vis et autres pièces spéciales. On évitait également les gouttières, conduites et tuyaux divers qu'il eût fallu établir suivant l'axe de la toiture pour recueillir les eaux tombées sur la moitié du toit, soit sur 8.500 mètres carrés environ en plan.

Ces considérations parurent suffisantes pour faire adopter le projet de M. Barlow, avec fermes sans appuis intermédiaires : indépendamment de l'avantage qui résulte de ce que l'espace couvert est complétement libre, la comparaison faite avec quelques autres gares dans le tableau suivant montre que, relativement, le système employé à Saint-Pancrace n'est pas le plus coûteux.

NOM DE LA GARE.	PORTÉE.	PRIX par mètre carré moins les écrans (1).	PRIX par mètre carré pour un écran.
	mètres.	francs.	francs.
Cannon Street.	57,00	117,10	16,05
Charing Cross.	49,80	91,40	16,05
Saint-Pancrace.	72,00	84,10	11,70
New Lime Street Station.	63,60	80,65	»
Victoria Station, Great Western side.	36,00	74,30	Avec un écran.

(1) Le projet primitif de la gare de Saint-Pancrace ne comportait qu'un écran à l'extrémité sud, la toiture devant s'appuyer sur les bâtiments à l'extrémité opposée; mais, pour éviter que la vapeur et la fumée n'entrassent par les fenêtres dans ces bâtiments, l'architecte demanda qu'un second écran fût adapté à l'extrémité sud, ce qui conduisit en outre à admettre une ferme supplémentaire de ce côté (la 25e).

Ces comparaisons de prix ne fournissent pas une appréciation absolue d'un genre de construction : il y a des circonstances accessoires dont il faudrait pouvoir tenir compte et qui modifieraient les chiffres indiqués : variations de prix des matériaux, de la main-d'œuvre, différence dans la rapidité d'exécution, etc.

On arrive, suivant M. Barlow, à une appréciation plus exacte de la valeur d'une construction par la considération *des portées-limites* due à Rankine. Cet auteur fait remarquer que, partant d'une ferme ou d'une poutre donnée, supportant une charge déterminée, si l'on augmente la portée et proportionnellement toutes les dimensions, la section du métal croît comme le carré de la longueur, tandis que le poids de la poutre varie comme le cube, c'est-à-dire plus rapidement. Il arrive donc une longueur telle que, pour une résistance donnée du métal à la tension ou à la compression, la poutre ne peut que se soutenir elle-même sans supporter aucune charge : c'est cette longueur que Rankine appelle la portée-limite. Voici comment on peut la déterminer, par exemple.

Soient :

p le poids en tonne d'une poutre donnée ;

l la portée correspondante ;

π la charge que cette poutre peut porter pour un effort donné du métal ;

L la portée-limite.

Appelons p' le poids de la poutre pour la longueur L, on a :

$$\frac{p}{p'} = \frac{l^3}{L^3},$$

Soient s et s' les aires correspondantes du métal, on a de même :

$$\frac{S}{S'} = \frac{l^2}{L^2}.$$

Dans le cas de la portée l, l'effort du métal par unité de surface est :

$$\frac{p + \pi}{S};$$

dans le cas de la portée-limite, cet effort est :

$$\frac{p'}{S'}.$$

Si l'on veut que le métal travaille également dans les deux cas, on a :

$$\frac{p + \pi}{S} = \frac{p'}{S'};$$

mais $\frac{p}{S} \cdot \frac{S'}{p'} = \frac{l}{L}$; d'où $\frac{p'}{S'} = \frac{L}{l} \cdot \frac{p}{S},$

et par suite $\frac{p + \pi}{S} = \frac{p}{S}\frac{L}{l}.$

Donc la portée-limite est déterminée par la relation (*) :

$$L = \frac{(p + \pi)l}{p}.$$

Le tableau suivant fait connaître les portées-limites pour un certain nombre des modèles les plus usités.

(*) Cette relation peut donner aussi le poids d'une poutre donnée, connaissant la longueur de la portée-limite $p = \frac{\pi l}{L - l}$.

DÉSIGNATION DU SYSTÈME.	EFFORT-limite de compression.	EFFORT-limite de tension.	PORTÉE-limite.
	kilog.	kilog.	mètres.
Poutre laminée : hauteur = 1/16 de la portée. . .	6	8	152
Poutre à treillis : — — — . . .	6	8	163
— — 1/12 — . . .	6	8	204
— — 1/10 — . . .	6	8	233
Poutre à treillis continu (Boyne Bridge pattern).	?	?	270
Ferme en arc ordinaire pour toiture.	7 à 8	10 à 12	300 à 320
Ferme de la gare de Saint-Pancrace	4,3	»	311
— —	5	»	330
— —	5,4	»	386
Pont suspendu à chaîne: flèche = 1/10 de la portée.	»	8	674
— à câble.	»	8	730
— —	»	10	875

IV. — Tramways à voie entièrement métallique du port de Glasgow.

Le système de rails adopté pour les tramways et composé de bandes en fer fixées sur des longrines en bois, présente des inconvénients divers : d'une part, il est difficile de maintenir le rail au niveau du pavage ; d'autre part, les boulons ou crampons qui unissent les rails aux longrines doivent être resserrées de temps en temps, surtout aux joints, ce qui ne peut être fait qu'en enlevant le pavage ; puis les trous des boulons laissent passer l'eau qui y reste et rouille les boulons ou crampons.

On a cherché à diverses reprises, comme pour les chemins de fer, à construire des voies entièrement métalliques. Un système de ce genre a été appliqué sur le port de Glasgow, sur une longueur de 4.275 mètres environ, par les *trustees* de la Clyde : cette voie a été établie en 1872 sur le quai Sud; et jusqu'en 1874, d'après MM. Poulet et Luneau, il n'y a eu aucune réparation à y faire, bien qu'elle reçût des wagons du chemin de fer et que le trafic y fût considérable : l'application de ce système sur les

lignes à établir sur les nouveaux quais est décidée, à ce qu'il paraît. Il peut n'être pas sans intérêt de faire connaître ce système, qui a donné des résultats satisfaisants à Glasgow.

Les rails, qui sont en fonte moulée en coquille, ont la forme d'un U renversé (∩) et présentent une rainure sur la face supérieure ; ces fers ont une largeur de $0^m,254$ (Pl. 3, fig. 17 et 18), leur hauteur est de $0^m,203$, leur épaisseur de 0,018.

Ces dimensions sont plus considérables que celles qui conviendraient à un tramway ordinaire, parce que ces rails doivent supporter non-seulement les voitures à voyageurs, mais aussi les wagons à marchandise. Pour la même raison, la rainure a une largeur de 0,054, supérieure à celle des rails des tramways ordinaires.

Les rails ont une longueur de $1^m,52$. Ils sont assemblés les uns aux autres à queue d'aronde, avec un certain jeu de manière à permettre leur libre dilatation, tout en s'opposant à la séparation de leurs extrémités.

Ces rails-longrines sont maintenus directement entre deux rangs de pavés ; ils reposent sur un lit de béton de $0^m,15$ d'épaisseur sur $0^m,533$ de largeur dont on fait refluer une partie à l'intérieur de la cavité du fer en U, ce qui contribue à maintenir latéralement la position du rail.

Le prix d'établissement de ce système est assez cher : pour les premières voies construites, ce prix a été de $34^f,35$ le mètre courant (soit $17^f,17$ le mètre courant de *rail*). Il paraît que les nouvelles voies qui doivent être établies coûteront davantage : le prix serait de 56 francs le mètre de voie, d'après le marché qui a été conclu en 1874.

Dans le cas où la voie devait être utilisée seulement pour des voitures à voyageurs, les dimensions des rails-longrines devraient être diminuées ainsi que la largeur de la rainure. Le prix serait moindre, mais il pourrait se faire que la stabilité du rail fût diminuée et que le système perdît ses avantages ; il est fâcheux qu'il n'y ait pas à cet

égard d'expériences concluantes : la compagnie des tramways de la ville de Glasgow a refusé d'appliquer ce système bien qu'elle eût sous les yeux les résultats satisfaisants fournis par les lignes du port.

V. — Bateau-porte de la nouvelle forme de radoub de Greenock.

La nouvelle forme du radoub du port de Greenock est fermée par un bateau-porte ou plutôt par un caisson roulant qui a été terminé en 1874 ; le modèle adopté devait être employé avec quelques légères modifications, par l'amirauté, à Portsmouth, dans de plus grandes dimensions.

La forme de radoub est fermée par un caisson en tôle, présentant une disposition générale analogue à celle des bateaux-portes, et jouant le même rôle sous le rapport de la fermeture (Pl. 3, *fig.* 1 et 2). Le mouvement de déplacement de ce caisson diffère seul de celui des bateaux-portes : ce caisson *abc* est porté par deux chariots *d*, *d'* roulant sur des rails placés sur une partie horizontale en contre-bas du seuil de la forme (*fig.* 5 et 6) : il peut se mouvoir parallèlement à lui-même dans le sens de la longueur, et venir se remiser dans une chambre *gh* pratiquée dans l'épaisseur du bajoyer et dont la longueur est égale à celle du caisson lui-même, de sorte que celui-ci y pénétrant entièrement démasque absolument l'entrée de la forme.

La portion inférieure du caisson *mbp*, limitée à la partie supérieure par une cloison qui la ferme hermétiquement, constitue une chambre à air étanche : les dimensions en ont été calculées de telle sorte que, à marée basse, la poussée exercée par l'eau sur le caisson soit peu inférieure au poids du caisson même. Il résulte de cette disposition que le système pèse peu sur les roues qui le supportent, et que l'on peut déterminer son déplacement à l'aide d'une force

relativement minime. Lorsque la mer monte, l'eau peu s'introduire dans l'intérieur des chambres supérieures du caisson, de telle sorte que la poussée reste constante et ne tend pas à soulever le caisson. Le caisson mis en place est calé à l'aide de cames mues par des vis : des fourrures en bois assurent l'herméticité de la fermeture.

L'ouverture de la fermeture de la passe s'obtient par le moyen d'une chaîne sans fin mue par un treuil (ou par tout autre moyen), de telle sorte que, à volonté, le caisson est placé en travers de la passe ou rentré dans la retraite ménagée dans le bajoyer. S'il était nécessaire de réparer la porte ou de la visiter, il suffirait de fermer les ouvertures o, o', o'' à l'aide de vannes disposées à cet effet : la mer montant et la forme étant pleine, le caisson viendrait à flotter, s'élèverait au-dessus du radier et pourrait facilement être conduit en un point où il serait possible de le mettre à sec.

Le caisson que nous venons de décrire sert en outre à établir une communication entre les deux bajoyers de la passe : il porte une voie charretière qui doit se trouver au niveau des quais avoisinants et se raccorder avec les voies établies sur ces quais. La chambre où s'engage le caisson est recouverte par un plancher fixe sur lequel passent les voitures, et c'est sous ce plancher que doit se placer le caisson entier. Pour arriver à ce résultat, le tablier qr du caisson est mobile, il est relié au caisson par l'intermédiaire de bielle, ss', $s_1s'_1$, etc., articulées en s, s', etc., de manière à constituer une série de parallélogrammes articulés qui permettent au plancher qr de se mouvoir parallèlement à lui-même; quelques-unes de ces bielles se prolongent au-dessous de l'axe de rotation correspondant st, et pénétrant dans des chambres étanches spéciales, portent des contre-poids. Le système articulé ainsi constitué est donc facilement mobile : lorsque les bielles ss' sont verticales, le plancher est au niveau des quais; si elles sont

suffisamment inclinées, le tablier *qr* et même les balustrades qui l'accompagnent s'abaissent assez pour pouvoir passer au-dessous du plancher *uv*, et permettre ainsi au caisson d'entrer sans difficulté dans la retraite *gh*.

Le mouvement du tablier qui l'amène à la position qu'il doit avoir peut s'obtenir de diverses manières : dans le projet étudié par l'amirauté pour le port de Portsmouth, la machine à pression d'eau qui produit le déplacement du caisson peut, par une transmission de mouvement spécial et un embrayage, produire également l'abaissement ou l'élévation du tablier. A Greenock, et c'est là un des points capitaux du système Kinipple, ces mouvements se produisent automatiquement. A cet effet les poutres *q*, *r* qui supportent le plancher sont terminées à leurs extrémités par des galets q, q', r, r'. Ces galets s'appuient sur des pièces en fonte xx', yy' dont les formes sont telles que lorsque le caisson s'avance dans un sens ou dans l'autre, ces galets sont poussés en haut ou en bas, entraînant avec eux le tablier du pont, de sorte qu'il s'élève jusqu'au niveau du quai lorsque le caisson vient à fermer la passe et qu'il s'abaisse jusqu'au-dessous du plancher *uv* lorsque celui-ci pénètre dans la chambre *gfh*.

Ce système de tablier mobile est intéressant : il permettrait le passage d'une voie ferrée aussi bien que d'une voie charretière, sans aucune dénivellation. Son inventeur, M. Kinipple, propose de l'appliquer à la construction de ponts bâtis sur un principe analogue à celui du caisson que nous venons de décrire et destinés à remplacer les ponts tournants, etc. Nous n'insistons pas sur cette application qui n'est qu'à l'état de projet ; le bateau-porte fonctionne, au contraire, et par cela même présente un certain intérêt.

(*A continuer.*)

Paris, 9 juillet 1875.

N° 2

ALIMENTATION EN EAU DU FORT SAINT-MICHEL, A TOUL.

NOTICE

Par M. A. PICARD, ingénieur des ponts et chaussées.

Exposé. — La place de Toul va être entourée d'une ceinture d'ouvrages extérieurs, dont l'un, actuellement en construction, est établi sur le mont Saint-Michel, au nord de la ville.

M. le colonel-directeur et M. le lieutenant-colonel, chef du génie (*), ont bien voulu nous demander notre concours pour l'exécution des travaux nécessaires à l'alimentation en eau de ce fort.

Les dispositions qui ont été adoptées pouvant présenter quelque intérêt à raison de la grande hauteur à laquelle les eaux ont été refoulées, nous venons, par la présente notice, faire connaître sommairement ces dispositions et les résultats qu'elles ont donnés.

CHAPITRE I.

ÉVALUATION DES BESOINS ET CHOIX DU MODE D'ALIMENTATION.

Évaluation des besoins. ***Besoins pendant la construction.*** — Pendant la construction, il fallait pourvoir à l'alimentation :

Des ouvriers ;

Des chevaux employés aux transports ;

De la machine fixe à vapeur, au moyen de laquelle s'ef-

(*) M. le colonel Maritz et M. le lieutenant-colonel Peaucellier.

fectue la traction sur le plan incliné, installé pour élever les matériaux du pied au sommet du Saint-Michel;

Des machines locomobiles employées à la confection du mortier et du béton et au bardage des matériaux;

Des chantiers pour l'extinction de la chaux, l'arrosage des moellons en été, le lavage des pierres cassées ou du gravier entrant dans la composition du béton, etc.

La reproduction des évaluations détaillées qui ont été faites à cet égard ne pouvant présenter aucun intérêt, nous nous bornerons à faire connaître le chiffre total, fixé à 60 *mètres cubes par jour*, c'est-à-dire à $0^{lit},7$ *par seconde.*

Besoins après l'achèvement des travaux. — Après l'achèvement des travaux, il fallait assurer l'alimentation de la garnison qui occupera le fort.

En admettant que cette garnison ait un effectif maximum de 1.000 hommes, et en attribuant 20 litres par jour à chaque homme, la consommation quotidienne ne dépassera pas 20 mètres cubes et sera, par suite, de beaucoup inférieure à celle des ateliers de construction.

Chiffre admis comme base des installations. — On a donc pris pour base des installations le volume de 60 mètres cubes par jour, reconnu nécessaire pour la période d'exécution.

On disposera ainsi, plus tard, d'un excédant de ressources qui pourra être utilisé:

Pour l'alimentation d'une batterie voisine située en contre-bas du Saint-Michel et où les eaux seraient amenées par un siphon;

Pour la transformation du plan incliné en plan automoteur et l'élévation économique du matériel, des munitions et des approvisionnements.

Ressources à proximité du Saint-Michel et choix du mode d'alimentation. — *Sources à flanc de coteau.* — Le mont Saint-Michel est un mamelon détaché; à son sommet et

sur une partie de sa hauteur, affleure le calcaire corallien à astartes; sa base est dans l'étage des marnes oxfordiennes.

Des sources jaillissent à flanc de coteau, au point de séparation des terrains supérieurs perméables et des terrains inférieurs imperméables. L'eau qu'elles fournissent est très-limpide et de bonne qualité. On a dû toutefois renoncer à les utiliser :

1° Parce qu'elles étaient déjà partiellement captées pour l'alimentation de la ville de Toul;

2° Parce que leur débit aurait été insignifiant en été, c'est-à-dire à l'époque où les chantiers sont précisément en pleine activité et consomment le plus d'eau;

3° Parce qu'elles sont disséminées et situées à un niveau sensiblement inférieur à celui du plateau, et qu'en conséquence leur captation et le transport de leur produit sur les chantiers auraient exigé des installations considérables et nécessité de grandes dépenses.

Prises d'eau dans la vallée. — Les sources à flanc de coteau étant ainsi écartées, il fallait prendre les eaux dans la vallée.

On pouvait les emprunter :

Soit à l'Ingressin, en amont de la place;

Soit au canal de la Marne au Rhin, également en amont de Toul, au point le plus rapproché du sommet du Saint-Michel;

Soit à la rivière de Moselle.

C'est cette dernière solution qui a été adoptée, parce qu'elle offrait l'avantage :

De donner de l'eau de meilleure qualité;

De ne porter aucun préjudice à l'alimentation du canal de la Marne au Rhin;

Enfin et surtout, comme nous l'expliquerons dans la suite de la présente notice, d'utiliser une force hydraulique suffisante pour assurer le refoulement de l'eau au sommet

du plateau, tandis que les autres solutions rendaient à peu près inévitable l'emploi de machines à vapeur.

Toutefois, afin de rapprocher la prise d'eau du Saint-Michel et de faciliter la création de la chute motrice, on a établi les ouvrages, non pas sur la Moselle même, mais sur la rigole navigable qui relie la rivière au canal, en un point où les eaux venant de la Moselle ne se sont pas encore mélangées aux eaux de qualité inférieure venues des biefs supérieurs du canal.

Dispositions générales adoptées pour l'alimentation. — Une pompe à double effet aspire l'eau dans la rigole et la refoule dans une conduite forcée en fonte qui la porte sur la crête du Saint-Michel.

Cette pompe est mue par une turbine actionnée elle-même au moyen des eaux de la Moselle, amenées par la rigole et jetées dans un contre-fossé latéral, d'où elles retournent à la rivière.

Les machines sont installées dans un bâtiment élevé sur la gauche de la rigole, à 20 mètres en amont du canal de la Marne au Rhin.

Quelques ouvrages accessoires complètent l'installation, au sujet de laquelle nous allons donner des détails aussi succincts que possible.

CHAPITRE II.

CONDUITE ASCENSIONNELLE.

Longueur. — La prise d'eau est établie, à vol d'oiseau, à une distance horizontale de 1.500 mètres du plateau.

La conduite n'ayant pu être placée complétement en ligne droite et présentant d'ailleurs une inclinaison notable, a une longueur effective de 1.775 mètres environ.

Hauteur de refoulement. — Le plan d'eau de la rigole

navigable de Toul, près du canal de la Marne au Rhin, est à 205 mètres au-dessus du niveau de la mer (en nombre rond).

L'altitude du plateau est de 385 mètres.

La hauteur utile de refoulement est donc de 180 mètres.

Pression à la base de la conduite. — Si à cette hauteur on ajoute les pertes de charge dues au frottement des filets liquides entre eux et contre les parois de la conduite, aux changements de direction dans les coudes, au passage des robinets, etc..., soit environ 5 mètres, on voit qu'en réalité la conduite est soumise à sa base à une pression permanente et normale de 18 *atmosphères.*

Cette pression, déjà si considérable, peut encore être accrue exceptionnellement par suite des coups de bélier et atteindre ainsi 20 *atmosphères.*

Tracé en plan. — La conduite part du bâtiment des machines, longe la rigole jusqu'au canal, qu'elle franchit dans un caisson adapté au poutrage du pont sur l'écluse 27, suit l'accotement d'un chemin rural jusqu'à la route départementale, n° 3, de Verdun à Épinal, traverse cette route, puis le chemin de fer de Paris à Strasbourg, sous le viaduc établi à la rencontre de ces deux voies de communication, s'infléchit à gauche pour suivre un chemin d'exploitation jusqu'à mi-côte, et quitte enfin ce chemin pour se diriger en ligne droite, à travers les vignes, vers le sommet du Saint-Michel.

Dans le tracé que nous venons de décrire très-sommairement, on s'est écarté assez sensiblement de la ligne droite :

1° Pour franchir économiquement et sans ouvrages spéciaux, le canal de la Marne au Rhin et le chemin de fer de Paris à Strasbourg ;

2° Pour utiliser autant que possible les chemins publics, réduire ainsi le montant des indemnités à payer aux propriétaires des vignes qui couvrent le coteau et faciliter la surveillance et l'entretien ultérieurs.

Profil en long. — Le profil en long de la conduite épouse la forme générale du terrain.

On a cherché à y éviter les contre-pentes. Elle ne présente qu'un point haut, qui était inévitable, à la traversée du canal.

Son inclinaison, généralement faible à la base, s'accentue à mesure que l'on s'approche du plateau et atteint, près de la crête, $0^m,50$ par mètre.

Profondeur de la conduite au-dessous du terrain naturel. — L'axe de la conduite a été placé au minimum à $1^m,25$ en contre-bas du sol.

Cette profondeur considérable est justifiée par la nécessité :

1° De mettre la conduite à l'abri des froids très-intenses qui règnent sur le sommet et les flancs du Saint-Michel ;

2° Et surtout de la protéger contre l'action des projectiles, en cas de guerre.

Nature des tuyaux. — Les tuyaux sont en fonte ; il ne pouvait y avoir, au cas particulier, aucune hésitation sur le choix de ce métal.

Diamètre des tuyaux. — Le diamètre intérieur des tuyaux est de $0^m,06$. Il est beaucoup plus que suffisant pour assurer l'écoulement de $0^{lit},7$ par seconde ; mais, en le réduisant, on se serait exposé à voir la conduite s'obstruer, au bout de quelques années, par les dépôts calcaires ou les tubercules ferrugineux qui s'y formeront inévitablement.

Nous ne saurions trop insister sur ce danger d'obstruction dont les architectes du département de Meurthe-et-Moselle ne se préoccupent pas en général dans les travaux qu'ils exécutent pour les communes, et qui donne lieu à tant de mécomptes.

Perte de charge par mètre courant. — La vitesse de l'eau dans les tuyaux, pour un débit de $0^{lit},7$ par seconde, est de $0^m,25$ environ.

La perte de charge correspondante est, d'après les tables de M. l'inspecteur général Mary :

De $0^m,0017$ par mètre linéaire de tuyau.

Et de $5^m,018$ pour toute la conduite.

Épaisseur des tuyaux. — On a attribué aux tuyaux droits :

1° Pour la moitié supérieure de la hauteur, c'est-à-dire entre les cotes (295) et (385), une épaisseur de $0^m,0065$, chiffre généralement admis dans la fabrication courante du pays;

2° Pour la moitié inférieure, appelée à supporter des pressions plus considérables, c'est-à-dire entre les cotes (205) et (295), une épaisseur de $0^m,0085$.

Ces épaisseurs sont, comme toujours, de beaucoup supérieures à l'épaisseur théorique nécessaire pour assurer la résistance de la conduite, en supposant le métal homogène et imperméable.

Mais elles étaient indispensables en pratique, tant au point de vue du coulage de la fonte qu'au point de vue de son étanchéité.

Elles sont d'ailleurs augmentées d'un cinquième dans les coudes, qui sont plus difficiles à couler et dont les parois sont toujours plus irrégulières.

Nature des joints.—La pression exceptionnelle à laquelle les joints devaient être soumis, sur la plus grande partie du développement de la conduite, nous avait inspiré les plus sérieuses inquiétudes.

Nous avons donc cru devoir, par mesure de prudence, faire des expériences préalables, à la presse hydraulique, sur des joints de diverses espèces. Ces expériences nous ont convaincu :

Que de tous les joints en usage, le meilleur *était le joint à emboîtement ;*

Et que ce joint, pourvu qu'il fût fait avec beaucoup de

soin, pouvait résister à des pressions s'élevant jusqu'à 40 *atmosphères*, sans donner de suintement appréciable.

Nous l'avons donc adopté, en attribuant à la bague une longueur de $0^m,05$ et une épaisseur de $0^m,01$.

Ce joint est trop connu pour qu'il soit utile de le décrire; nous nous bornerons à faire connaître les précautions spéciales qui ont été prises. Ces précautions ont consisté :

1° A bien accuser la rainure annulaire ménagée sur la face interne des emboîtements;

2° A employer, pour le matage du plomb, un ciseau un peu tranchant répartissant les efforts de l'ouvrier sur des surfaces plus faibles qu'à l'ordinaire, et assurant ainsi un martelage plus complet et plus énergique;

3° A prolonger la durée de ce matage;

4° A payer le plomb au poids, afin d'éviter que les poseurs ne le ménageassent à l'excès, comme cela a lieu trop souvent lorsqu'on traite avec un entrepreneur, moyennant un prix à forfait par joint.

Les emboîtements ont été naturellement dirigés vers le sommet de la conduite pour permettre la confection des joints et mieux assurer leur conservation.

Joints exceptionnels. — On a dû intercaler dans la conduite quelques joints *à bride :*

D'une part, pour y adapter des robinets;

D'autre part, pour faciliter le démontage partiel de la conduite en cas de besoin.

Mais on a eu beaucoup de peine à les rendre étanches; il a fallu, vers la base du Saint-Michel, employer à cet effet du caoutchouc ou du mastic au minium.

Robinets. — La conduite est munie :

1° A sa base, d'un robinet d'arrêt destiné à l'isoler du réservoir d'air et de la pompe, lorsqu'on arrête la machine;

2° En deux points bas, de robinets de décharge destinés à en assurer la vidange complète en cas de besoin ;

3° En un point haut, d'un robinet-ventouse, permettant à l'air de s'échapper quand on met la conduite en charge;

4° En divers autres points, échelonnés à 300 mètres d'intervalle environ l'un de l'autre, de robinets d'observation, destinés à circonscrire les fouilles de recherche, au cas où des fuites viendraient à se produire (*).

La hauteur considérable à laquelle les eaux sont refoulées nous a déterminé à employer exclusivement des robinets-vannes, du type en usage à Paris.

Celui qui fait office de clapet d'arrêt est placé dans l'axe de la conduite, les autres le sont latéralement; ils sont adaptés à un tuyau spécial à trois branches.

Regards. — Les robinets sont enfermés dans des regards maçonnés, fermés par une trappe et recouverts de terre pour les protéger contre le froid et l'action des projectiles.

Ces regards sont percés d'un orifice permettant à l'eau de s'écouler, soit dans des fossés, sur les points où il en existe, soit dans de petits puits perdus, soit simplement dans le sol, lorsqu'il est suffisamment fendillé.

CHAPITRE III.

POMPE.

Description générale. — La pompe est horizontale, à double effet, du modèle Girard (Pl. 1, *fig.* 4, 5 et 6).

Elle se compose de deux corps à simple effet, placés en

(*) Lorsqu'un accident de cette nature se produit, il suffit d'ouvrir successivement les robinets en partant de la base de la conduite. Les fuites se trouvent évidemment entre le dernier robinet donnant un débit normal et le robinet suivant.

On peut même, avec quelque habitude, apprécier assez exactement le point précis où les réparations doivent être exécutées, d'après la force jaillissante de l'eau au premier de ces robinets.

prolongement l'un de l'autre, et dans lesquels se meut un piston plongeur animé d'un mouvement alternatif.

A chacune de ses extrémités, elle porte deux soupapes, l'une d'aspiration et l'autre de refoulement.

Les deux soupapes d'aspiration communiquent par une culotte avec un tuyau unique plongeant dans le bief d'amont.

Les deux soupapes de refoulement communiquent de même par une culotte avec un tuyau unique aboutissant au réservoir d'air.

Un clapet d'arrêt est interposé entre ce réservoir et la culotte de refoulement, pour les isoler pendant que le piston franchit les points morts, ou au moment des arrêts de la pompe.

La pompe est portée, ainsi que l'un des paliers de l'arbre de la transmission de mouvement, par un bâti en fonte reposant sur un massif de pierre de taille.

Corps de pompe. — Les corps de pompe sont en fonte; leur épaisseur est de $0^{m},018$.

A l'une de leurs extrémités, ils sont fermés par un plateau solidement boulonné sur une nervure.

A l'autre extrémité, ils portent un stuffing-box, dans lequel se meut le piston; ce joint, très-sensible, peut se serrer ou se desserrer avec la plus grande facilité, de manière à empêcher les fuites, tout en évitant un frottement trop considérable,

Piston. Produit de la pompe. Vitesses. — Nous rappelons que la pompe est à piston plongeur.

Ce système a, sur l'emploi du piston ordinaire, le triple avantage :

De donner un contact plus parfait du piston et de la garniture à travers laquelle il se meut, attendu qu'il est plus facile d'aléser un corps convexe qu'un corps concave ;

De révéler immédiatement les fuites qui peuvent se produire autour du piston;

De rendre la réparation de ces fuites beaucoup plus facile, puisqu'il suffit de resserrer la garniture.

Le diamètre du piston est de $0^m,08$; sa course est de $0^m,25$; il engendre, par coup double, un volume de $0^{mc},0025$.

En admettant que le rendement en eau de la pompe soit de 0,90, tant à cause des petites fuites entre le piston et la garniture qu'à raison des rentrées d'eau par les clapets de refoulement, le volume réel refoulé par tour dans la conduite ascensionnelle est de $2^l,25$.

Le piston donne donc par minute de 18 à 19 coups doubles, pour fournir $0^l,7$ par seconde.

La vitesse moyenne du piston est alors de $\frac{0^m,0007}{\pi \times 0,04^2} = 0^m,14$.

En admettant que le bouton d'articulation de la bielle sur la manivelle soit animé d'un mouvement uniforme, la vitesse maxima s'obtient en divisant la vitesse moyenne par $\frac{2}{\pi}$ (*); elle est donc de $0^m,22$, chiffre inférieur aux limites que les constructeurs admettent aujourd'hui dans les grands établissements hydrauliques.

Le piston est d'ailleurs en bronze; il porte à son extrémité une tige articulée sur la bielle et passant à travers un joint à étoupes.

Clapets. — Les clapets sont, dans toutes les pompes, les organes les plus délicats et les plus difficiles à bien établir.

Il faut en effet :

1° Qu'ils découvrent, au moment de leur ouverture, des orifices d'une section comparable à celle du piston, de manière à éviter les variations brusques de vitesse de l'eau qui ont pour conséquence inévitable des pertes de charge et de force vive et des chocs;

(*) Voir le *Cours de mécanique appliquée* de M. Bresse, 2e partie, Hydraulique, page 457, édition de 1860.

2° Qu'ils s'ouvrent et se ferment très-rapidement et sans chocs, au moment du changement de marche du piston, de manière à éviter les retours d'eau refoulée et à réduire au minimum les espaces nuisibles.

Ces deux conditions sont difficiles à remplir simultanément. La première, en effet, conduit à donner aux clapets un diamètre et une course considérables; la seconde, au contraire, conduirait à diminuer ces dimensions.

Les constructeurs ont imaginé, pour y satisfaire, des dispositions fort ingénieuses, mais qui laissent toutes plus ou moins à désirer, soit au point de vue de leur efficacité, soit surtout au point de vue de leur simplicité.

Au cas particulier, eu égard à la faible vitesse du piston, on a cru devoir adopter le type simple que représentent la *fig.* 7.

Les clapets de la pompe de Toul se composent donc essentiellement d'un disque circulaire en bronze, garni d'une rondelle de cuir à sa partie inférieure, reposant sur un siége en fonte et surmonté d'une tige en bronze glissant dans un cylindre creux ou guide de même métal.

Les soupapes d'aspiration s'ouvrent sous l'action de la pression atmosphérique, les soupapes de refoulement s'ouvrent sous l'action de la compression de l'eau par le piston; les unes et les autres se ferment par l'action d'un ressort logé dans l'intérieur du clapet.

Le diamètre du siége est de $0^{m},04$; la course des clapets est de $0^{m},0125$; la surface d'écoulement qu'ils découvrent est donc de $0^{mq},0015$, et la vitesse moyenne de l'eau y est de $0^{m},47$.

Bien que cette vitesse soit de beaucoup supérieure à celle de l'eau dans la pompe, elle n'est pas assez élevée pour produire des chocs appréciables.

On peut s'en rendre compte par un calcul fort simple, que nous allons indiquer pour le refoulement.

Soit en effet :

u la vitesse du piston ;
u' — de l'eau au passage des clapets ;
u'' — de l'eau dans les tuyaux d'aspiration et de refoulement ;
m le coefficient de dépense des orifices en mince paroi ;
Q le débit ;
ζ la perte de charge éprouvée par l'eau ;
φ la perte de force vive ;
t le temps ;

La perte de charge se compose :

1° D'une perte à l'entrée de l'orifice découvert par le clapet, $\frac{u^2}{2g}\left(\frac{1}{m}-1\right)^2$;

2° D'une perte à la sortie, $\frac{(u'-u)^2}{2g}$;

elle a donc pour expression :

$$\zeta=\frac{u^2}{2g}\left(\frac{1}{m}-1\right)^2+\frac{(u'-u)^2}{2g} \quad (*).$$

La perte de force vive correspondante, pendant un élément de temps dt, a pour expression, d'après le théorème de Bernouilli :

$$\varphi = 2.000\, Q\zeta dt.$$

En remplaçant dans ces expressions les lettres par leurs valeurs, on trouve :

Pour la perte de charge. . . . . 0m,0047 seulement,
Pour la perte de force vive. . . . 0m,0066 dt —

Ces résultats théoriques ont été pleinement confirmés par l'expérience ; il ne s'est pas produit de choc appréciable au passage des clapets, et l'on a cru devoir maintenir leur

(*) Cette expression ne doit être considérée que comme une approximation à admettre à défaut de formules plus exactes.

course réduite, que l'on pouvait augmenter à volonté en recoupant les tiges verticales.

Grâce à cette disposition, leur ouverture et leur fermeture sont pour ainsi dire instantanées, tout en s'effectuant avec une douceur suffisante (*).

Notons, en terminant ce que nous avons à dire sur les clapets, qu'ils sont placés dans des boîtes à fond mobile, venues de fonte avec les corps de pompe et permettant de les visiter et de les réparer facilement.

Culotte et tuyau d'aspiration. — La culotte et le tuyau d'aspiration ont un diamètre intérieur de $0^m,05$; la vitesse moyenne de l'eau y est de $0^m,35$.

La hauteur d'aspiration ne dépasse pas 1 mètre en nombre rond ; la pompe de Toul est à cet égard dans une situation excellente : on sait, en effet, que si la colonne d'aspiration a à parcourir une hauteur trop considérable, elle n'arrive pas assez rapidement pour suivre le piston et qu'il en résulte non-seulement une réduction de débit, mais encore des chocs violents au retour du piston.

L'aspiration a lieu par une crépine empêchant l'introduction des corps étrangers qui auraient des dimensions suffisantes pour troubler le fonctionnement de la machine ou donner lieu à des accidents.

Culotte et tuyau de refoulement. — La culotte de refoulement et le tuyau qui y fait suite jusqu'au réservoir ont $0^m,05$ de diamètre intérieur.

Un clapet d'arrêt est disposé, ainsi que nous l'avons dit

(*) Les constructeurs ont l'habitude d'attribuer une certaine importance au développement linéaire du contour d'écoulement des soupapes et d'admettre comme convenable une longueur de $0^m,06$ au moins par litre débité à la seconde. (Voir un mémoire de M. Harlé, inspecteur général des mines, *Annales des mines*, 1865, et l'ouvrage de M. Gérardin, ingénieur en chef des ponts et chaussées, sur l'établissement hydraulique de Condé, page 191.)

Nous croyons donc devoir faire connaître que les soupapes de la pompe de Toul présentent un contour de près de $0^m,18$ par litre.

ci-dessus, sur le tuyau, contre le réservoir d'air, pour isoler ce réservoir de la pompe.

Joints. — Les joints de la pompe, avec les plateaux extrêmes, avec les couvercles des chapelles des clapets, et avec les culottes d'aspiration et de refoulement, ont été en général faits au caoutchouc ; ce système a paru donner de meilleurs résultats que l'emploi du mastic au minium.

Bâtis. — Il était essentiel que la pompe et toutes les pièces qui s'y rattachent eussent une fixité parfaite ; la moindre trépidation aurait rapidement disloqué les joints dont la conservation était plus que jamais indispensable à raison de la pression exceptionnelle à laquelle ils sont soumis.

A cet effet, les appareils ont été adaptés à un bâti en fonte très-puissant, énergiquement relié au moyen de 7 forts boulons à un bloc de pierre dure qui pèse 3.750 kilogrammes et qui repose lui-même sur une bonne fondation.

CHAPITRE IV.

TURBINE.

Chute motrice. — La rigole navigable de Toul est longée, sur la gauche, par un contre-fossé ou ruisseau, dit de la Viergeotte.

Le fond de ce contre-fossé est à $2^{m},60$ en contre-bas du plan d'eau du canal, correspondant à un mouillage de 2 mètres. Il est habituellement à sec ; après les orages violents et au moment des débordements extraordinaires de la Moselle, il livre passage à une lame d'eau de $1^{m},20$ de hauteur au maximum.

Il existe ainsi entre la rigole et le contre-fossé une chute que l'on a utilisée :

En établissant un aqueduc de prise d'eau sous la levée

de la rigole, et en empruntant, par cet aqueduc, le volume d'eau nécessaire ;

En jetant cette eau, par l'intermédiaire d'une turbine, dans le contre-fossé, d'où elle s'écoule vers le vieux lit du ruisseau de l'Ingressin et, de là, retourne à la Moselle.

L'eau motrice n'occupant pas, dans le contre-fossé, à sa sortie de la turbine, une hauteur de plus de $0^{m},60$, la chute disponible est de 2 mètres, en temps ordinaire.

Cette chute peut être accidentellement réduite à $1^{m},40$, à l'époque des grandes pluies et des débordements.

Travail effectif à produire. — Le volume d'eau à fournir au Saint-Michel étant de $0^{l},7$ par seconde, et la hauteur de refoulement étant de 185 mètres (y compris les pertes de charge), le travail effectif à produire est de 130 kilogrammètres par seconde, représentant une force de $1^{\text{cheval}},75$.

Travail brut de la chute. — Par suite, en admettant pour l'ensemble des appareils un rendement total de 0,50, le travail brut de la chute devra être de 260 kilogrammètres par seconde, correspondant à une force de $3^{\text{chevaux}},50$.

Dépense d'eau motrice. — La dépense d'eau motrice, par seconde, sera en conséquence :

De 130 litres en temps ordinaire,

Et de 185 litres à l'époque des hautes eaux.

Nature de la turbine. — Les données principales ayant servi de base à l'étude de la turbine étant connues, nous allons la décrire sommairement (*fig.* 6).

Elle est du type Fontaine Baron, modifié par Girard et désigné par ce constructeur sous le nom de turbine « *à libre déviation et à veine détachée* ».

Elle se compose essentiellement :

D'une couronne fixe ou *distributeur*,

Et d'une couronne mobile ou *récepteur*, qui est fixée sur un arbre creux suspendu à sa partie supérieure et tournant autour d'un axe fixe.

Un vannage permet de régler la dépense d'eau, suivant la chute et le travail à produire.

Distributeur. — La couronne servant de distributeur est en fonte (*fig.* 8, 9 et 10).

Elle a 1 mètre de diamètre moyen.

Son ouverture, mesurée dans le sens du rayon, est de $0^m,08$.

Afin de réduire les frottements et les pertes de charge de l'eau au passage dans les injecteurs, on ne lui a attribué qu'une hauteur de $0^m,065$; cette hauteur est d'ailleurs suffisante pour imprimer à la veine liquide la direction qu'elle doit avoir à son entrée dans le récepteur.

Elle livre passage à l'eau sur deux quadrants opposés par le sommet : chacun de ces quadrants est divisé en 15 injecteurs par des cloisons directrices affectant sensiblement la forme d'un hélicoïde dont la génératrice décrirait les courbes indiquées aux *fig.* 9 et 10 en s'appuyant sur l'axe et en restant horizontale.

La courbure des cloisons est très-forte au sommet et à peu près nulle à la base, de manière à bien diriger la veine ; leur inclinaison sur l'horizon, dans le plan de la face inférieure de la couronne, est de 32° en moyenne.

La largeur des injecteurs, mesurée horizontalemen tsur le cylindre moyen, est de $0^m,05$ en nombre rond.

Récepteur. — La couronne servant de récepteur est en fonte.

Elle a 1 mètre de diamètre moyen.

Son ouverture est de $0^m,08$ au sommet et de $0^m,29$ à la base.

Sa hauteur est de $0^m,11$.

Elle est ouverte sur tout son pourtour et divisée par des aubes hélicoïdales en 60 orifices correspondant exactement aux injecteurs.

L'angle formé par les aubes avec le plan horizontal est en moyenne ;

De 58° au sommet,

Et de 24° à la base.

Elles sont taillées en biseau à leur partie supérieure de manière à éviter les pertes de charge et de force vive qu'entraînerait nécessairement la division de la veine par des cloisons épaisses.

Le récepteur est caractérisé :

1° Par son grand évasement transversal du sommet à la base ;

2° Par les ouvertures ménagées dans les parois latérales de la couronne.

L'évasement transversal a les avantages suivants :

1° Il compense le rapprochement inévitable des aubes à leur partie inférieure.

2° Il permet d'accuser davantage ce rapprochement, de réduire par suite l'angle de sortie de la veine, de ne lui conserver ainsi qu'une vitesse absolue peu considérable et d'améliorer le rendement.

3° Il détache la veine de la paroi convexe pour la porter exclusivement contre la paroi concave.

4° Il permet de réduire la largeur des orifices injecteurs, de diminuer ainsi l'épaisseur des cloisons directrices et de supprimer les chocs et les perturbations auxquels donne lieu une division excessive de la veine par des cloisons épaisses.

Les orifices ménagés dans les parois de la couronne près de la face convexe des aubes, ont pour objet :

1° De s'opposer à un abaissement de la pression de l'air entre ces parois et la veine liquide, abaissement qui se traduirait par une aspiration d'eau et par un engorgement du récepteur ;

2° De permettre accessoirement l'échappement latéral de l'eau, au cas où son dégagement à la base deviendrait trop difficile pour une raison quelconque.

Axe. — L'axe se compose (*fig.* 6) :

D'un arbre central fixe en fer, qui repose à sa base sur un coussinet en fonte adapté au radier du puits de la turbine, et qui porte à sa partie supérieure une crapaudine en bronze avec grain d'acier et godet graisseur ;

D'un arbre extérieur creux et mobile, en fonte, qui est solidaire avec le récepteur et qui est suspendu sur un pivot tournant dans la crapaudine de l'axe central.

Ce pivot est fileté sur une partie de sa hauteur et porte un écrou qui permet de l'élever ou de l'abaisser et de régler ainsi, à volonté, le niveau du récepteur.

Des dispositions de détail, dont l'examen n'entre pas dans le cadre de la présente notice, facilitent la visite et l'enlèvement du pivot ou de la crapaudine, sans démonter la turbine.

L'arbre mobile tourne, à sa partie supérieure, dans un palier en fonte avec coussinet en bronze, et à sa partie inférieure, dans une bague en bronze adaptée au distributeur et surmontée d'un joint à étoupes que l'on peut régler de manière à éviter les fuites.

Vannage. — Le vannage consiste en un papillon circulaire susceptible de glisser dans une rainure ménagée sur la face supérieure du distributeur et de masquer ou démasquer ainsi autant d'orifices qu'il est nécessaire, en tournant autour de l'arbre de la turbine.

Les injecteurs découverts remplissent toujours deux angles opposés par le sommet, de manière à éviter les efforts latéraux qui se produiraient sur l'arbre, sans cette disposition.

Pour mouvoir le vannage, on imprime un mouvement de rotation à un pignon d'angle établi au-dessus du puits ; ce premier pignon engrène avec une roue horizontale montée sur un axe qui tourne dans une crapaudine ménagée sur le distributeur et qui porte un second pignon, lequel engrène lui-même avec une crémaillère fixée au papillon.

Un compteur indique le nombre d'injecteurs découverts.

Le vannage à papillon a l'inconvénient de ne pas permettre de garnir d'aubes le distributeur sur plus de la moitié de son pourtour.

Mais en revanche il a l'avantage :

De laisser entièrement découverts les injecteurs appelés à donner de l'eau à la turbine et d'éviter ainsi les pertes de charge résultant nécessairement d'une obturation partielle de ces injecteurs ;

De chasser facilement ou de couper les corps étrangers qui auraient pu s'introduire sur la couronne fixe ou dans les injecteurs.

Il constitue, à notre avis, un excellent vannage à tous égards.

Vitesse de rotation de la turbine. — La transmission de mouvement, mettant en communication la turbine et la pompe, réduit de moitié la vitesse de rotation.

La turbine doit faire, en conséquence, 37 tours par minute environ.

La vitesse absolue des points situés sur la circonférence moyenne du récepteur est donc de $\frac{\pi \times 37}{60} = 1^{m},95$, soit en nombre rond 2 mètres.

Vitesse absolue de l'eau à la sortie. — En désignant par :

α, β, γ, les trois angles indiqués ci-contre;

V, V', la vitesse absolue de l'eau à l'entrée et à la sortie du récepteur;

u, u', la vitesse relative de l'eau à l'entrée et à la sortie du récepteur;

v, la vitesse absolue de rotation des points situés à 1 mètre de distance de l'axe;

h, H, la hauteur du récepteur et la hauteur utile de chute,

et en remarquant :

1° Que la vitesse absolue est la résultante de la vitesse relative et de la vitesse d'entraînement;

2° Qu'à l'entrée, la vitesse absolue est tangentielle au dernier élément des cloisons directrices des injecteurs ;

3° Qu'à la sortie, la vitesse relative est tangentielle au dernier élément des aubes ;

4° Que la vitesse absolue à la sortie du distributeur n'est guère que des trois quarts de la vitesse théorique due à la charge sur la face inférieure du distributeur par suite du frottement contre les parois des injecteurs,

On a les relations :

$$V = 0{,}75\sqrt{2g(H - h)} \quad (1)$$
$$u^2 = V^2 + v^2 - 2Vv \cos \alpha \quad (2)$$
$$u'^2 = u^2 + 2gh \quad (3)$$
$$V'^2 = u'^2 + v^2 - 2u'v \cos \gamma \quad (4)$$

En substituant aux lettres leurs valeurs dans ces formules, on trouve pour V' : 2 mètres, valeur correspondant à une hauteur de chute de $0^m{,}22$.

Rendement théorique. — Le rendement théorique est donc, dans les circonstances ordinaires, de $\frac{2{,}00 - 0{,}22}{2} = 0{,}89$, soit 0,90.

Proportion de l'admission partielle et augmentation possible du volume d'eau refoulé au Saint-Michel. — Si l'on représente par :

ω, la section horizontale d'un injecteur ;
n, le nombre d'injecteurs découverts ;
m, un coefficient de réduction ;
α, H et h, les mêmes quantités que ci-dessus,

le débit du distributeur est exprimé par :

$$Q = mn\omega \sin \alpha \sqrt{2g(H - h)}. \quad (5)$$

Au cas particulier, en remplaçant :

ω, par sa valeur $0^{mq}{,}0042$;
α, — $32°$;
m, par 0,62, chiffre très-faible, de beaucoup inférieur à celui

que l'on admet habituellement, mais s'expliquant par la section réduite des injecteurs et les frottements qui en sont la conséquence, et résultant d'ailleurs d'expériences directes,

on trouve qu'il suffit d'ouvrir :

En temps ordinaire.	16 ou 18 injecteurs;
En hautes eaux.	26 à 28 —

Que, par suite, on peut sans difficulté porter au besoin, pendant la plus grande partie de l'année, à plus de 1 litre par seconde le débit de la pompe;

Que l'on peut même, à l'époque des pluies et des débordements, donner un peu plus de $0^{lit},7$ par seconde au Saint-Michel.

CHAPITRE V.

TRANSMISSION DE MOUVEMENT. — RÉSERVOIR D'AIR.

Transmission de mouvement. — Le mouvement de la turbine est transmis ainsi qu'il suit à la pompe (*fig.* 4 et 5) :

Un pignon d'angle de $0^m,40$ de diamètre est monté à la partie supérieure de l'arbre de la turbine ; il engrène avec une roue d'angle de $0^m,80$ de diamètre calée à l'une des extrémités d'un arbre horizontal. Cet arbre, porté par deux paliers, dont l'un est placé au-dessus du puits de la turbine, et dont l'autre est solidaire avec le bâti de la pompe, entraîne dans son mouvement un plateau compensateur, muni d'un bouton auquel est articulée une bielle de $0^m,60$ de longueur qui commande la tige du piston plongeur de la pompe.

La distance du bouton au centre du plateau est de $0^m,125$ (représentant la demi-course du piston), c'est-à-dire du cinquième environ de la longueur de la bielle.

La tige du piston porte, à son point d'articulation avec

la bielle, un guide qui se meut sur des glissières adaptées au bâti de la pompe.

La transmission que nous venons de décrire sommairement ne présente pas de dispositions particulières sur lesquelles il y ait lieu d'insister. Nous nous bornerons à faire remarquer qu'on a substitué à la manivelle ordinaire un plateau armé d'un contre-poids qui équilibre le bouton et la bielle et qui, accessoirement, facilite un peu le passage aux points morts.

Réservoir d'air. — Afin de régulariser le mouvement ascensionnel de l'eau et surtout d'uniformiser la résistance opposée au mouvement du piston, on a eu soin, suivant l'usage, d'établir un réservoir d'air à l'origine de la conduite et très-près de la pompe.

Ce réservoir est en fonte, il affecte la forme d'un cylindre couronné d'une calotte hémisphérique. Il est solidement fixé sur une pierre de taille d'un poids considérable.

Un tube en verre indique le niveau auquel l'eau s'y élève.

Il est mis en communication par un tube avec un manomètre Bourdon qui sert :

A faire connaître la marche d'ascension de l'eau, lorsqu'on met la conduite en charge ;

A donner des indications sur les variations de la pression pendant la marche de la pompe ;

Enfin à révéler les fuites importantes, au cas où il viendrait à s'en produire, et à indiquer à peu près leur hauteur et par suite leur emplacement.

Le diamètre du réservoir est de $0^{m},20$; il a, en contre-haut du tuyau de refoulement, une hauteur de $0^{m},80$ et une capacité de 25 litres, c'est-à-dire de 20 fois environ le volume d'un coup de piston.

L'eau venant de la Moselle chasse en général assez d'air pour alimenter le réservoir ; en cas d'insuffisance, on peut en faire aspirer par la pompe en ouvrant et fermant alter-

nativement, au moment convenable, deux robinets purgeurs adaptés aux corps de pompe.

Toutefois le passage de cet air mêlé à l'eau dans les clapets de refoulement donne lieu à quelques chocs.

Nous pensons que lorsqu'une conduite aura à fonctionner sous des pressions considérables développant à un haut degré la solubilité de l'air, et que l'on n'aura pas à reculer devant un surcroît de dépenses, il conviendra toujours, malgré l'opinion contraire de quelques constructeurs, d'assurer largement l'alimentation du réservoir par une pompe à air spéciale.

CHAPITRE VI.

BATIMENT DES MACHINES.

Aqueduc de prise d'eau. — L'aqueduc de prise d'eau établi sous la levée de gauche de la rigole consiste en un dallot à section carrée de $0^m,80$ de côté, dont le radier est à $1^m,20$ en contre-bas du plan d'eau du canal, réglé pour un mouillage de 2 mètres (*fig.* 1, 2 et 3).

Ses deux pieds-droits se prolongent vers la cuvette de la rigole par deux murs en aile épousant le profil du talus.

Ces murs en aile sont protégés par des perrés contre les affouillements et le choc des bateaux.

La vitesse de l'eau motrice au passage de cet aqueduc ne dépasse pas $0^m,20$.

Ventelle de prise d'eau. — La tête de l'aqueduc est munie d'une ventelle que l'on ferme toutes les fois que l'on veut visiter la turbine, et à cet effet interrompre la communication entre la rigole et le puits.

Cette ventelle est en bois; elle est garnie sur son pourtour d'un petit fer en U. Elle glisse dans des coulisseaux en fonte et repose à sa base sur 2 taquets du même métal.

L'appareil de levage consiste en une vis en fer qui peut

tourner dans un collet et qui s'engage dans un écrou en bronze placé à la partie supérieure d'un manchon en fonte fixé lui-même à la ventelle; on imprime à la vis un mouvement de rotation, au moyen d'une manivelle coudée; ce mouvement se transforme en une translation verticale de l'écrou, du manchon et par suite de la ventelle.

Des rainures à poutrelles ont été en outre ménagées dans les murs en aile de l'aqueduc en avant de la ventelle.

Puits de la turbine. — Le puits de la turbine est à section carrée de 1^{m},70 de côté. A sa base il se rétrécit pour porter le distributeur et affecte une forme cylindrique.

Il est recouvert à sa partie supérieure d'une charpente et d'un plancher, supportant les paliers du pignon et de la roue d'angle, ainsi que l'appareil de manœuvre du vannage.

L'eau a une vitesse insensible à son passage dans le puits, ce qui est une excellente condition au point de vue du rendement de la turbine.

Aqueduc de fuite. — Les eaux, après être passées par la turbine, s'écoulent par un aqueduc dont l'intrados est en arc de cercle; l'ouverture de cet aqueduc est de 1^{m},40 et sa hauteur sous clef de 0^{m},65.

Il se prolonge à l'amont du puits pour maintenir la continuité du contre-fossé de la Viergeotte sous le bâtiment des machines.

Puisard d'aspiration. — Un puisard établi latéralement à l'aqueduc de prise d'eau et mis en communication avec lui, reçoit le tuyau d'aspiration de la pompe.

Bâtiment proprement dit. — Le bâtiment proprement dit, élevé pour abriter les machines, est extrêmement simple.

Il a 5 mètres de longueur intérieure et autant de largeur; sa hauteur sous faîte est de 4^{m},85.

Les murs sont en maçonnerie ordinaire revêtus intérieu-

rement d'un enduit en mortier et extérieurement d'un crépi moucheté légèrement teinté en gris, avec socle et bandeaux d'angle blancs en mortier ordinaire lissé.

La couverture est en tuiles mécaniques ; elle est revêtue sur sa face inférieure d'un plancher destiné à mettre les machines parfaitement à l'abri de la pluie.

Le sol est recouvert d'une couche de béton et d'un dallage strié en ciment de Portland, disposé en quinconce. Nous recommandons tout particulièrement ce genre de dallage, qui acquiert une grande dureté, et qui est d'un excellent effet.

La salle des machines est éclairée par 2 fenêtres ; on y accède par une porte s'ouvrant sur le chemin de contre-halage du canal.

Un fourneau permet de la chauffer en hiver pour éviter l'effet de la gelée sur la pompe et les pièces qui s'y rattachent.

Grillages. — Des grillages sont établis entre les rampants des murs en aile de la prise d'eau et de la tête amont de l'aqueduc passant sous le bâtiment ; leur but est d'empêcher les corps flottants de pénétrer soit en dessus, soit en dessous de la turbine.

CHAPITRE VII.

ÉPREUVES.

I. — **Conduite.** *Épreuve des tuyaux.* — Les tuyaux ont été soumis tous, à l'usine, au moyen d'une presse hydraulique, à une pression d'épreuve fixée à 15 atmosphères pour la moitié supérieure de la hauteur de la conduite et à 25 atmosphères pour la moitié inférieure. Ceux qui présentaient la moindre trace de suintement étaient rigoureusement rebutés (*).

(*) Nous avons remarqué que presque tous les tuyaux laissaient

Épreuve de la conduite. — Après l'achèvement de la conduite et avant de la recouvrir, on l'a mise en charge et maintenue en cet état pendant plusieurs jours.

Cette épreuve a donné les résultats les plus satisfaisants. Les joints à emboîtement ont tous parfaitement résisté; seuls, les joints à bride ont nécessité un remaniement et ont été difficiles à étancher, comme nous l'avons expliqué dans le cours de la présente notice.

On s'était réservé de soumettre en outre la conduite à un surcroît de pression au moyen de la presse hydraulique; mais il a paru inutile de faire les frais de cette seconde épreuve, après les bons résultats qu'avait donnés la première.

Observation sur quelques précautions à prendre. — L'expérience que nous avons faite nous conduit à recommander aux personnes qui auraient à éprouver des conduites avant de les recouvrir:

1° D'éviter de laisser ces conduites trop longtemps à découvert, parce que les variations répétées de température auxquelles elles seraient soumises détruiraient les joints ou réduiraient leur étanchéité;

2° De bien les étayer, dans les courbes, afin d'empêcher les déplacements latéraux qui résulteraient de la différence de longueur des tuyaux à l'intérieur et à l'extérieur de ces courbes.

II. — **Turbine.** *Nature des épreuves.* — Le constructeur avait assuré, par son marché, un rendement minimum de 75 p. 100 pour la turbine, dans les conditions ordinaires de fonctionnement des machines, c'est-à-dire pour un débit de $0^{lt},7$ à 1 litre et une chute variant de $1^{m},40$ à 2 mètres.

---

passer l'eau lorsqu'on les essayait immédiatement après leur fabrication; il suffisait de quelques jours pour développer un commencement d'oxydation et fermer entièrement les pores de la fonte.

Les épreuves destinées à vérifier l'accomplissement de cet engagement ont consisté :

1° A démonter la transmission de mouvement et à adapter à l'arbre de la turbine un frein de Prony ;

2° A faire marcher la turbine à des vitesses différentes, en faisant varier l'effort exercé sur le frein, l'ouverture du distributeur et la chute ;

3° A jauger pour chaque opération la dépense d'eau motrice, à mesurer la chute, à en déduire le travail brut et à le comparer au travail disponible sur l'arbre, donné par le frein.

Installation du frein. — Le frein était horizontal.

Il se composait :

1° D'un levier en bois portant à l'une de ses extrémités une mâchoire à joue circulaire ;

2° D'une mâchoire jumelle, reliée à la première au moyen de boulons.

Ces deux mâchoires agissaient sur une poulie adaptée à l'arbre.

On avait suspendu le frein par son centre de gravité, afin de l'empêcher d'exercer sur la poulie des efforts latéraux qui auraient faussé les résultats des expériences.

Il était soumis à l'action d'un poids variable suspendu à une corde qui passait sur des poulies de renvoi, pour venir se fixer au levier.

Jaugeage de l'eau motrice. — L'eau motrice était jaugée au moyen d'un déversoir établi à une distance suffisante de la turbine, pour ne pas être noyé à l'aval et ne pas produire à l'amont de remous altérant la chute.

Ce déversoir, parfaitement encastré dans les berges et le plafond du contre-fossé, était garni sur son pourtour d'une plaque de tôle mince qui le plaçait dans les conditions nécessaires pour y appliquer le coefficient de Lesbros.

Mesurage de la chute. — La chute s'obtenait par un simple nivellement des biefs d'amont et d'aval ; on la faisait varier à volonté au moyen d'un vannage mobile dis-

posé dans le contre-fossé un peu en aval du bâtiment des machines.

Mesurage de la vitesse angulaire. — Le nombre de tours faits par la turbine dans l'unité de temps était mesuré au moyen d'un compteur de précision.

Expression du rendement. — En désignant par :

H, la chute motrice;
Q, la dépense d'eau par seconde;
ω, la vitesse angulaire de la turbine;
F, l'effort de résistance exercé sur le frein;
L, la distance du point d'application de cette force à l'axe de la turbine;
T_m, le travail brut de la chute par seconde;
T_d, le travail disponible sur l'arbre;
R, le rendement,

ces quantités sont liées par les relations :

$$T_m = QH \qquad (1)$$
$$T_d = FL\omega \qquad (2)$$
$$R = \frac{FL\omega}{QH} \qquad (3)$$

Résultats des épreuves. — Sans entrer dans le détail des nombreuses expériences auxquelles il a été procédé, nous ferons connaître :

Que le rendement s'est élevé à près de 0,80 pour la chute maxima de 2 mètres;

Que ce rendement s'abaissait assez rapidement aussitôt que la turbine était noyée, et tombait à 0,65 environ quand le bief d'aval s'élevait à $0^m,60$ en contre-haut de la face inférieure du récepteur (ce qui prouve combien il importe de ne pas noyer les turbines);

Qu'il n'a pas varié sensiblement lorsque la fraction d'admission changeait;

Qu'il est également resté à peu près constant lorsqu'on faisait varier la vitesse de rotation sans trop s'écarter de la vitesse ordinaire de marche.

III. — **Pompe.** *Rendement en eau.* — Le constructeur avait assuré pour la pompe un rendement en eau des 0,9 du volume engendré par le piston.

L'épreuve à laquelle il a été procédé à cet égard a consisté :

A faire fonctionner la pompe pendant un temps déterminé ;

A compter le nombre de coups de piston au moyen d'un compteur mu par la turbine ;

A jauger l'eau arrivée dans le bassin du Saint-Michel ;

A en déduire le rapport du volume d'eau parvenu sur le plateau au volume engendré par le piston.

On avait eu soin, d'ailleurs, de faire cette épreuve avant de recouvrir la conduite et après s'être assuré qu'elle ne donnait aucune fuite.

On a trouvé que, même en laissant passer entrel e piston et les garnitures un petit filet d'eau destiné à empêcher l'usure de la pompe à laquelle donnerait lieu un serrage exagéré, le rendement s'élevait à plus de 0,9 ; ce résultat s'explique par la faible course des clapets et l'instantanéité avec laquelle ils s'ouvrent ou se ferment au moment des changements de marche du piston.

Résistance à la pression. — La pompe a d'ailleurs parfaitement résisté à la pression considérable à laquelle elle était soumise.

Nous croyons devoir, à cet égard, rapporter un fait assez intéressant. Bien que la fonte fût d'un grain très-serré, très-homogène, qu'elle eût été coulée avec un soin extrême, qu'elle ne contînt aucune soufflure et qu'elle eût une épaisseur considérable, pendant les premiers jours on voyait jaillir à travers ses pores des filets d'eau microscopiques, qui conservaient encore à la sortie une certaine force jaillissante ; depuis, l'oxydation intérieure du métal a fait cesser ce phénomène.

IV. — **Ensemble des machines.** *Rendement total.* — Le

constructeur avait garanti pour l'ensemble des machines un rendement total de 0,50.

Pour vérifier si cet engagement était rempli, on a, à diverses époques :

Jaugé l'eau refoulée dans le bassin du Saint-Michel, pendant un temps donné ;

Mesuré en même temps la chute et la dépense d'eau motrice,

Et comparé le travail utile produit au travail brut de la chute.

On a toujours trouvé un rendement légèrement supérieur au chiffre garanti.

CHAPITRE VIII.

MODE D'EXÉCUTION ET DÉPENSES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT.

Mode d'exécution. — Les travaux ont été exécutés :

1° Pour la turbine et la pompe, par M. Pilter, constructeur à Paris, en vertu d'un marché de gré à gré, et à forfait ;

2° Pour la conduite, par M. Noël, fontainier à Pont-à-Mousson, en vertu d'un marché de gré à gré, et sur série de prix ;

3° Pour le bâtiment des machines et les terrassements de la conduite, par l'entrepreneur général des travaux du génie de la place de Toul.

Les détails des machines ont été étudiés par M. Breville, ingénieur de la maison Pilter.

Les tuyaux ont été coulés à l'usine de Pont-à-Mousson.

Clauses principales du marché relatif aux machines. — Le cahier des charges relatif aux machines fixait notamment :

1° Le travail utile à produire, c'est-à-dire le volume d'eau à refouler et la hauteur de refoulement ;

2° Les limites de la chute motrice ;

3° La nature du moteur, de la pompe, et de la transmission ;

4° La course, la vitesse-limite et le nombre maximum de coups de piston de la pompe ;

5° Le rendement mécanique garanti pour la turbine et pour l'ensemble des machines ;

6° Le rendement en eau garanti pour la pompe ;

7° La capacité du réservoir d'air ;

8° Les conditions dans lesquelles seraient faites les épreuves.

Dans le cas où le rendement aurait été inférieur aux chiffres garantis, l'entrepreneur était tenu de remplacer immédiatement les appareils ; il en était de même, en cas de malfaçons.

Le marché stipulait d'ailleurs :

Un délai de garantie d'un an ;

Un délai d'exécution de deux mois et, en cas de retard, une retenue de 10 francs par jour pour la première période de cinq jours, de 20 francs pour la période suivante, etc.

Clauses principales du marché relatif à la conduite. — Le cahier des charges relatif à la conduite fixait notamment :

1° Le développement de cette conduite ;

2° La hauteur de refoulement ;

3° La nature et les dimensions des tuyaux et des joints et le mode de coulage de la fonte ;

4° Les épreuves des tuyaux à l'usine ;

5° Les conditions de pose de la conduite ;

6° Les épreuves après l'achèvement des travaux ;

7° La garantie d'un an ;

8° L'exécution dans un délai de deux mois et, en cas de retard, une retenue fixée à 40 francs pour chacun des cinq premiers jours et se doublant pour chaque nouvelle période de cinq jours.

Dépenses de premier établissement. — Les dépenses de premier établissement se sont élevées à 31.300 francs, savoir :

	francs.
1° Machine (prix à forfait).	4.000
2° Conduite (décompte sur série de prix) (*).	10.700
3° Bâtiment des machines et installations accessoires.	8.150
4° Déblai et remblai des tranchées de la conduite. .	3.650
5° Curage du contre-fossé à l'aval de la turbine. . .	1.800
6° Indemnités de terrains et de dommages.	3.000
Total pareil.	31.300

Le prix du mètre courant de conduite mise en place, y compris les robinets, mais non compris les terrassements, est de 6 francs. En y comprenant les terrassements, il s'élève à 8 francs. Ce chiffre ne paraîtra pas exagéré si l'on a égard : 1° à la grande profondeur des fouilles ; 2° à la dureté des terrains vers le sommet du coteau ; 3° à la surépaisseur attribuée à une partie des tuyaux ; 4° enfin aux difficultés de bardage des tuyaux dont une grande partie ont dû être portés à bras jusqu'à pied d'œuvre, sur les flancs du Saint-Michel.

CONCLUSIONS.

Tels sont les renseignements sommaires qu'il nous a paru utile de donner sur l'alimentation en eau du Saint-Michel.

Nous aurions voulu pouvoir les compléter par l'indication du prix de revient de l'élévation de l'eau ; mais malheureusement l'exploitation de l'établissement est commen-

---

(*) *Nota.* — Les principaux prix d'application étaient les suivants :

	francs.
Les 100 kilogr. de fonte rendus à pied d'œuvre.	23,30
Les 100 kilogr. de plomb —	70,00
La pose du mètre linéaire de conduite, y compris tous les frais de façon des joints, mais non compris la fourniture du plomb.	1,10

cée depuis trop peu de temps pour qu'il nous soit possible de le faire. Nous nous bornerons à faire connaître :

1° Que les dépenses de graissage s'élèvent à 0f,80 par jour, soit à 0f,011 par mètre cube élevé à 185 mètres ou à 0f,06 (*) par 1.000 mètres cubes élevés à 1 mètre;

2° Que les dépenses de personnel sont également de 0f,80 par jour, soit 0f,011 par mètre cube d'eau élevé à 185 mètres ou 0f,06 par 1.000 mètres cubes élevés à 1 mètre.

Nancy, le 1er avril 1875.

(*) Ces chiffres, supérieurs à ceux des grands établissements hydrauliques, paraîtront relativement peu élevés, si l'on a égard au faible volume refoulé chaque jour au Saint-Michel.

N° 3

INSTRUCTIONS

POUR

LES *OPÉRATIONS* RELATIVES A LA DÉLIMITATION DES COURS D'EAU NAVIGABLES.

NOTE

Par M. MALÉZIEUX, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

On est bien d'accord aujourd'hui sur la définition du *lit* des cours d'eau navigables (*) : le lit est la surface couverte par les plus hautes eaux, avant tout débordement. Mais cette définition peut donner lieu à des interprétations diverses quand on en vient à l'application ; aussi a-t-elle été, dans plusieurs occasions, l'objet d'instructions spéciales émanées de l'administration supérieure. Supposant *qu'il* peut y avoir quelque utilité à vulgariser la connaissance de ces instructions, nous transcrivons ci-après un extrait d'une dépêche adressée par le Ministre des Travaux publics au préfet de l'Eure le 26 mai 1874, dépêche provoquée par un avis entièrement conforme du Conseil général des ponts et chaussées en date du 26 février précédent :

« Toute délimitation du ***plenissimum flumen*** consiste

(*) Voir notamment à ce sujet : 1° les Observations présentées devant le Tribunal des Conflits, le 11 janvier 1873, par M. David, maître des Requêtes au Conseil d'État, commissaire du gouvernement [*Annales : Lois, décrets, etc.*, 1874, cahier d'avril, p. 138-147] ; — 2° la Note de M. l'ingénieur en chef Schlemmer, *Ann.* 1874, cahier d'octobre, p. 209 ; — 3° les Observations de M. l'inspecteur général Kleitz, *ib.*, p. 272.

« dans la reconnaissance d'une rive, au droit de laquelle « les eaux sont sur le point de déborder. S'il s'agit du con- « tinent, ce sera la rive continentale considérée isolément « et indépendamment de la rive opposée; s'il est question « d'îles ou d'alluvions isolées, ce sera la rive insulaire. « Mais jamais la rive continentale ne peut servir à détermi- « ner la limite du débordement sur les îles et *vice versâ*, « surtout quand il est manifeste que les îles et le continent « sont placés, par rapport au fleuve, sous des régimes di- « vers.

« Une délimitation ne saurait consister dans une simple « opération de géométrie basée sur une théorie plus ou « moins arbitraire concernant la hauteur des eaux de débor- « dement, et en aucun cas elle ne peut se traduire par le « choix d'un plan unique dont on détermine ensuite l'inter- « section avec tout l'ensemble des terrains à délimiter.

« La délimitation a pour objet de constater un fait; et « ce fait, variable en chaque point des rives, consiste « dans la hauteur à laquelle les eaux débordent *sur ce « même point*. Il s'ensuit que la ligne limitative n'est nul- « lement assujettie à constituer une section de niveau ; elle « ne forme pas même une courbe plane et peut varier fré- « quemment d'altitude, suivant la hauteur plus ou moins « grande des berges et du terrain auquel celles-ci font « suite ; il convient de suivre, en quelque sorte pas à pas, « les contours du terrain à délimiter, d'y reconnaître le « niveau de débordement, quel qu'il soit, sur le plus grand « nombre de points possible, et de réunir ensuite tous « ces points par un tracé continu, après avoir négligé les « sinuosités accidentelles ou d'un ordre secondaire. »

Il s'agit, dans cette affaire, d'herbes et osiers coupés, par des propriétaires riverains de la basse Seine, dans la commune de Thony, sur de basses berges comprises entre la laisse des basses eaux et la crête d'un chemin de halage submersible.

Le 14 mars 1874, le Ministre adressait les mêmes instructions au préfet d'Indre-et-Loire, pour une délimitation à faire en aval du pont suspendu de Langeais, délimitation que les ingénieurs avaient proposé d'opérer en limitant le lit du fleuve au niveau général de la vallée, tel qu'il règne *en arrière d'une digue de la Loire.*

Le 12 février 1872, une dépêche analogue était adressée au préfet de l'Ain, non plus à propos d'une rive *continentale*, mais à propos de deux îles, les îles de Murs, atterrissements formés dans le lit du Rhône. « Ces îles, disait le « Ministre, doivent être délimitées d'après leur propre « situation par rapport aux eaux qui, avant de les couvrir « entièrement, viennent atteindre les limites inférieures des « plateaux boisés ou suffisamment mûrs pour supporter « un commencement de végétation. »

Il n'est peut-être pas hors de propos de faire remarquer que cette jurisprudence administrative était à peu près la même il y a vingt ans, et que l'administration centrale avait en quelque sorte devancé le Conseil d'État et la Cour de cassation en adoptant comme base unique des délimitations de lit, conformément à la tradition romaine et au sens le plus naturel des mots, la considération du *plenissimum flumen*. L'indépendance absolue des constatations à faire aux différents points de chaque rive est recommandée en termes précis dans un rapport de M. de Franqueville qui porte la date de 1847; et le Ministre s'exprimait ainsi qu'il suit dans une dépêche adressée le 10 mars 1854 au préfet de la Marne :

« Veuillez, monsieur le préfet, rappeler à MM. les ingé« nieurs que l'administration a posé comme règle générale « que le lit d'un fleuve embrasse la surface comprise entre « les deux lignes accidentées qui, sur chaque rive, forment « l'intersection de la surface plus ou moins inclinée de la « berge avec le niveau général de la plaine; que ces deux

« lignes constituent non-seulement pour chaque rive, mais « encore pour chaque point en particulier de chacune des « deux rives, la limite extrême à laquelle commence le dé- « bordement d'un fleuve, limite qui, suivant la configura- « tion des rives, peut correspondre à des hauteurs d'eau « très-différentes. »

Il ressort pourtant de cette citation une petite différence entre les instructions de 1854 et celles de 1874. On ne parle plus aujourd'hui du « niveau général de la plaine. » Déjà M. de Franqueville, dans le rapport précité, avait fait remarquer que cette règle géométrique, proposée pour les cas ordinaires, serait « d'une application difficile ou en quelque sorte impossible » au cas où des berges très-faiblement inclinées viennent se raccorder d'une manière insensible avec la surface de la plaine. M. Aucoc, dans ses *Conférences à l'École des ponts et chaussées*, avait indiqué un autre cas d'exception : celui d'une rivière qui ne déborde pas, et où rien n'autorise à englober dans son lit la portion des berges supérieures aux plus hautes eaux. On peut citer encore le cas inverse d'une levée submersible, dominant la plaine, et dont le talus intérieur appartient tout entier au domaine public.

On avait donc été un peu trop loin en voulant tout réduire à une formule de géométrie : on est dans le vrai en ne limitant par aucune règle la recherche pratique du point jusqu'où les plus hautes eaux s'avancent avant tout débordement, dans chaque profil en travers et sur chaque rive.

Paris, 15 novembre 1875.

N° 4

RECENSEMENT DE LA CIRCULATION SUR LES ROUTES.

APPLICATION DU COMPTAGE AMBULANT.

NOTE

Par M. LATERRADE, ingénieur en chef des ponts et chaussées (*).

Les comptages ambulants sont de deux sortes, suivant qu'ils sont faits par des observateurs spéciaux, ou qu'ils le sont simplement par les agents chargés de la surveillance des routes, en profitant des tournées dont leur service leur fait une obligation.

Dans le principe on a fait usage d'observateurs spéciaux. La méthode employée ne différait du comptage fixe qu'en ce que l'observateur, au lieu de rester stationnaire en un seul point de la section de comptage, la parcourait, pendant toute la durée de l'opération, avec une vitesse de

(*) On trouvera dans la deuxième partie (lois, décrets, etc.) du présent cahier, savoir :

Page 38, une circulaire ministérielle du 10 mai 1875 qui a prescrit d'opérer, en 1876, un recensement général de la circulation sur les routes;

Page 40, une autre circulaire du 23 août suivant qui, en recommandant de surveiller les observateurs, a indiqué comme pouvant être employé, à titre de vérification, le *comptage ambulant* décrit par M. Laterrade dans les *Annales*, 1863, 2ᵉ sem., p. 116.

E. M.

2 kilomètres à l'heure, mettant par conséquent une demi-heure juste d'intervalle entre son passage à deux bornes kilométriques consécutives, et revenant sur ses pas dès qu'il était arrivé à l'une des extrémités de la section. Ce mode de recensement est, à coup sûr, le plus exact qui puisse exister; il est donc très-supérieur au comptage fixe, car il ne coûte pas plus cher et n'entraîne pas plus de dérangements pour le service ; en outre on peut faire usage des mêmes imprimés et recueillir les observations absolument de la même manière, non-seulement sans avoir besoin de coefficients, mais sans qu'il soit même nécessaire de connaître le rapport entre la circulation de jour et celle de nuit. Il convient de dire cependant, pour le cas où l'on voudrait recourir à ce mode rigoureux de comptages, que l'observateur doit commencer l'opération, tantôt à un point, tantôt à un autre, afin que toutes les parties de la section soient successivement parcourues à des heures différentes.

On a bientôt reconnu que les comptages ambulants, nécessairement moins réguliers, faits par les agents dans leurs tournées et dont on n'avait d'abord fait usage qu'à titre de vérifications, donnaient une exactitude presque aussi grande que les précédents et, dans tous les cas, très-suffisante dans la pratique. La vérification minutieuse qui a été faite du comptage ambulant, conformément aux prescriptions ministérielles, n'a pas laissé de doute à ce sujet; comme ce système simplifié de comptage ambulant est beaucoup moins coûteux et d'une application beaucoup plus facile que le système absolument rigoureux appliqué dans le principe, il lui a été substitué depuis. Seulement, l'expérience a permis d'y apporter quelques modifications, notamment en ce qui concerne les coefficients dont on faisait un grand usage au moment où notre premier mémoire sur le comptage ambulant a été publié. En même temps on était conduit à se servir d'imprimés spéciaux qui ont natu-

rellement pour effet de diminuer les écritures en même temps qu'il en résulte plus d'uniformité dans l'application de la méthode. Au moment où l'emploi du comptage ambulant vient d'être rappelé par l'administration supérieure (circulaire ministérielle du 23 août 1875), il nous a semblé qu'il était opportun de porter ces diverses modifications à la connaissance des ingénieurs ; tel est le but de la présente note.

Les imprimés nécessités par le comptage ambulant sont au nombre de cinq, à savoir :

Le carnet de comptages (modèle n° 1);

Le relevé des comptages faits pendant chaque mois (modèle n° 2) ;

Le registre des comptages (modèle n° 3) ;

Le résumé des comptages (modèle n° 4) ;

Et la récapitulation des comptages faits pendant l'année (modèle n° 5).

Chacun de ces imprimés porte les instructions nécessaires pour le remplir. Le registre de comptages, notamment, contient une instruction générale qui indique la marche à suivre pour l'application complète de la méthode, et nous croyons ne pouvoir mieux faire que de reproduire ici ces instructions que l'on trouvera à la fin de cette note. Il nous reste seulement à les justifier en faisant connaître, en particulier, comment on peut supprimer presque entièrement l'usage des coefficients.

Ceux qu'on employait dans le principe, et dont il est parlé dans notre premier mémoire sur le comptage ambulant, étaient de deux sortes : les coefficients horaires et les coefficients quotidiens.

On commençait par appliquer la formule générale :

$$C = O + M' - M'',$$

qui donne la circulation moyenne C répondant à la durée

de l'observation, en ajoutant le nombre de colliers O rencontrés par l'observateur, dans un sens opposé au sien, avec le nombre de colliers M′ allant dans le même sens que lui et qui l'ont dépassé, et en en retranchant le nombre de colliers M″ allant dans le même sens que lui et qu'il a dépassés.

La circulation C ainsi déterminée, on la divisait par la durée de l'observation, afin d'obtenir la circulation par heure. Il en résulte que si l'on désigne par T le nombre de minutes qu'a duré l'observation, la circulation par heure se trouvera être de

$$C : \frac{T}{60} = 60\,\frac{C}{T}.$$

Si la circulation se répartissait uniformément entre les diverses heures de la journée, on n'aurait qu'à multiplier le résultat ci-dessus par 24 pour obtenir la circulation répondant à une journée entière ; elle se trouverait, par suite, être de $60\,\frac{C}{T} \times 24 = 1440\,\frac{C}{T}$; mais comme il n'en est pas ainsi, comme, notamment, la circulation est beaucoup plus forte le jour que la nuit, on a été conduit à déterminer des *coefficients horaires*, c'est-à-dire la fraction de la circulation totale qui passe pendant les diverses heures de la journée ; ces coefficients une fois connus, on pouvait obtenir la circulation totale en divisant la circulation par heure par le coefficient horaire moyen répondant à la partie de la journée pendant laquelle le comptage avait eu lieu. En appelant m ce coefficient, et en conservant d'ailleurs les mêmes notations que ci-dessus, la circulation totale aura pour expression $\frac{60}{m} \times \frac{C}{T}$.

Cependant, de même que la circulation ne se répartit pas également entre les diverses heures de la journée, elle ne se répartit pas non plus également entre les divers jours de la semaine ; par suite, il a paru également nécessaire

de déterminer des (*coefficients quotidiens*), en sorte qu'après avoir calculé à chaque fois la circulation par heure, on était obligé de la diviser ou de la multiplier successivement par deux coefficients.

On a d'abord reconnu que l'on pouvait supprimer l'usage des coefficients quotidiens. Il suffisait de répartir également les comptages ambulants entre les divers jours de la semaine, ainsi qu'on l'a toujours fait, d'ailleurs, pour le comptage fixe. A la vérité, si l'on veut ne rien dépenser, on ne doit pas faire faire de comptages le dimanche, qui est précisément le jour où la circulation est la plus faible ; mais l'erreur résultant de la suppression des comptages du dimanche ne saurait être bien forte, et l'on peut la corriger en recourant à la détermination des coefficients quotidiens, ce qui pourra se faire à l'aide des comptages fixes qui vont avoir lieu en 1876 ; il suffirait, pour cela, de renfermer les observations dans la durée d'un même jour, c'est-à-dire de les commencer à minuit pour les finir à minuit, au lieu de comprendre dans une même observation les deux derniers tiers d'un jour avec le premier tiers du jour suivant. En attendant que cette détermination soit faite, on peut atténuer considérablement l'erreur provenant de la suppression des comptages du dimanche en s'en tenant provisoirement aux déterminations qui ont été faites, avec une très-grande précision, dans l'arrondissement de Saint-Quentin, au moment de la vérification du comptage ambulant. On a trouvé alors (voir à la page 127 du mémoire déjà cité) que le coefficient quotidien du dimanche était de 0,56 ; par conséquent, la somme des coefficients des six autres jours de la semaine est de $7 - 0,56 = 6,44$, et la suppression des comptages du dimanche a pour effet d'augmenter la moyenne de la circulation dans la proportion de 7 à 6,44. On obtiendra donc cette moyenne en multipliant les résultats obtenus par $\frac{6,44}{7} = 0,92$.

Ce que nous venons de dire pour la suppression des coefficients quotidiens et des comptages du dimanche s'applique, en tous points, à la suppression des coefficients horaires et des comptages de nuit. On évitera l'emploi des coefficients horaires en répartissant également les comptages entre les diverses heures de la journée. Quant à la suppression des comptages de nuit, l'erreur qui en résulterait pourra être entièrement corrigée quand on aura déterminé le rapport qui existe entre la circulation de jour et celle de nuit, ce que l'on fera aisément lors du recensement de 1876, en se conformant aux instructions ministérielles qui recommandent de diviser les comptages par heure, à la condition toutefois de faire coïncider la durée des comptages avec celle du jour légal, comme on en a déjà constaté la nécessité plus haut; sans quoi l'on confondrait, par exemple, la circulation de jour du samedi qui est très-forte, avec la circulation de nuit du dimanche qui est, au contraire, très-faible, ce qui empêcherait d'obtenir exactement les rapports cherchés. En attendant que cette détermination soit faite, on peut se contenter, comme pour la suppression des comptages du dimanche, de corriger les résultats obtenus à l'aide des expériences que fait connaître le mémoire déjà cité sur le comptage ambulant.

En se rapportant aux chiffres qu'on peut lire à la page 126 de ce mémoire et en les combinant avec les heures où les cantonniers doivent se trouver sur les routes, qui sont aussi celles où les agents chargés de les surveiller doivent faire leurs tournées, on voit que le coefficient horaire moyen répondant à l'année entière est de 0,0657. Si l'on donne cette valeur à m dans la formule $\frac{60}{m} \times \frac{C}{T}$ qui fournit la circulation par jour, on trouve qu'elle devient $913 \frac{C}{T}$. Si maintenant on la multiplie par 0,92 pour tenir compte de la suppression des comptages du dimanche,

on trouve en définitive que la formule devient $840 \frac{C}{T}$ $= 0,84 \times \frac{1000\,C}{T}$, ce qui justifie la règle pratique que nous avons donnée dans les instructions reproduites sur le registre des comptages.

Le nombre $\frac{1000\,C}{T}$ est ce que nous appelons *circulation proportionnelle.* Sa détermination suffit dans la plupart des cas. En effet, ce que l'on recherche surtout dans le recensement de la circulation, c'est d'obtenir la circulation relative des diverses routes ou parties de routes considérées, et la substitution de la circulation proportionnelle à la circulation effective offre d'autant moins d'inconvénients que la première est d'une détermination plus certaine et ne présente pas d'ailleurs avec la seconde de différence bien considérable. Nous sommes convaincu, par suite, que, si le comptage ambulant finit par se substituer entièrement dans la pratique au comptage fixe sur lequel il offre tant d'avantages, on s'en tiendra à la *circulation proportionnelle* qui est la même dans toute la France, tandis que la circulation effective ou *circulation réelle* peut varier d'un département à un autre, dans des limites d'ailleurs assez étroites.

Il n'est pas d'ailleurs hors de propos de rappeler ici quel est le degré d'approximation dont l'évaluation de la circulation est susceptible.

Des expériences faites sur le comptage fixe lors de la vérification du comptage ambulant (voir le mémoire déjà cité, page 128) il résulte que le comptage fixe, en ne lui demandant autre chose que l'évaluation de la circulation en un seul point, donne des divergences d'autant plus fortes que la circulation est plus faible. Elles sont d'environ 10 p. 100 en moyenne pour des circulations inférieures à 300 colliers, et peuvent atteindre exceptionnellement

20 p. 100. Ces divergences tiennent à l'influence des causes fortuites parmi lesquelles il faut ranger, en première ligne, le beau et le mauvais temps. Pour les écarter complétement, il faudrait compter presque tous les jours de l'année. Quant aux erreurs que l'on peut commettre par la suppression des comptages de nuit et de ceux du dimanche, elles sont nécessairement beaucoup moindres. Il est clair en effet que, sauf des cas tout à fait exceptionnels, la circulation est toujours plus faible le dimanche que le reste de la semaine ; il n'en est autrement que dans l'intérieur de Paris et de quelques autres grandes villes. Par conséquent, l'erreur que l'on commettra en admettant pour le dimanche un rapport erroné ne pourra jamais dépasser certaines limites. S'il passait autant de voitures le dimanche que les autres jours, au lieu de n'en passer que 0,56, comme nous l'avons admis, l'erreur commise sur l'appréciation de la circulation ne serait que de 8 p. 100. D'un autre côté, si la circulation était absolument nulle le dimanche, l'erreur ne serait que de 14 p. 100. Comme ces hypothèses, surtout la dernière, sont absolument inadmissibles; comme une erreur de 10 p. 100 sur l'appréciation de la circulation du dimanche n'entraînerait sur la circulation moyenne qu'une erreur inférieure à 1 p. 100; comme il en est de même des erreurs que peut entraîner la suppression des comptages de nuit, on en conclura sans doute que c'est avec raison que, dans le comptage ambulant, nous avons supprimé à la fois les comptages du dimanche et les comptages de nuit.

Ne perdons pas de vue d'ailleurs que cette suppression n'est nullement une nécessité du comptage ambulant; on pourrait en effet faire des comptages de cette espèce, la nuit comme le jour, le dimanche comme dans la semaine; on se dispenserait ainsi de l'emploi de tout coefficient, mais on augmenterait la dépense; d'un autre côté, en faisant

usage des mêmes coefficients, on diminuerait notablement la dépense qu'entraîne le comptage fixe.

Si l'on veut ne compter les voitures vides que pour un quart, il faut naturellement faire subir une nouvelle réduction aux chiffres de la circulation. En se basant sur les résultats obtenus dans le département de Lot-et-Garonne, lors du comptage de 1869, on trouve que la réduction à opérer, de ce chef, serait de 0,871. Par suite, la circulation ainsi réduite sera égale à $840 \frac{C}{T} \times 0,871 = 732 \frac{C}{T}$, soit $0,73 \times \frac{1000C}{T}$.

Si, dans d'autres départements, on trouvait un rapport sensiblement différent de celui que nous venons d'indiquer, il ne faudrait pas se hâter d'en conclure que la proportion entre les voitures vides et les voitures chargées n'y est pas la même que dans le Lot-et-Garonne, car la différence pourrait tenir simplement à la manière dont les observateurs font leurs appréciations. La distinction à faire entre les chargements n'est pas aussi facile en effet à établir qu'on pourrait le croire au premier abord, attendu qu'on passe par degrés insensibles de la voiture complétement vide à la voiture complétement chargée. C'est d'ailleurs uniquement pour ce motif que nous jugeons inutile de compter à part les voitures vides dans le comptage ambulant, car cette méthode s'y prêterait tout aussi bien que le comptage fixe ; c'est pour un motif semblable que nous nous abstenons de diviser les voitures chargées en plusieurs catégories.

Ce qui précède fait voir que le comptage ambulant peut se passer, non-seulement d'observateurs spéciaux, mais de coefficients horaires et quotidiens. Ce n'est qu'à la fin de l'année qu'on devra faire subir aux résultats moyens certaines réductions ; encore ne sont-elles pas indispensables. Il convient de faire remarquer aussi qu'il n'est pas néces-

saire, comme on l'avait cru dans le principe, de calculer la circulation quotidienne répondant à chaque opération. Ce calcul ne doit avoir lieu qu'à la fin de l'année ou tout au plus, à titre de renseignement, à la fin de certaines périodes. A cet effet, on additionne entre elles les valeurs partielles de C et celles de T répondant à chaque comptage partiel et l'on opère sur les totaux comme sur les valeurs partielles. Il nous reste à dire que le comptage ambulant permet aussi d'obtenir très-simplement la moyenne de la circulation d'autant de routes ou de sections de routes qu'on voudra. Il suffit pour cela d'ajouter entre elles les valeurs partielles de la circulation (C) et des durées (T) répondant à chaque route ou section et d'opérer sur les totaux comme sur les nombres partiels. Toutefois, il est nécessaire, pour que le résultat soit exact, que la vitesse moyenne des observateurs ambulants ait été sensiblement la même et qu'ils aient fait, dans chaque section, un même nombre de comptages. La première de ces conditions pourra être considérée comme remplie si tous les comptages servant à l'établissement des moyennes sont faits à pied ; c'est pour ce motif, entre autres, que l'on ne doit pas faire usage, pour l'établissement des moyennes, des comptages faits en voiture ; ils ne doivent servir que comme vérification.

Qu'il nous soit permis, en terminant, de faire apprécier, par une comparaison, les avantages que présente le comptage ambulant sur le comptage fixe.

Il existe deux moyens de déterminer le relief du sol : le baromètre, qui permet d'obtenir directement l'altitude d'un point donné, et le niveau, qui permet de déterminer la différence d'altitude entre deux points donnés. Supposons qu'à l'aide du baromètre on puisse obtenir facilement et exactement l'altitude d'un certain point et que, le niveau n'étant pas encore inventé ou l'étant depuis peu de temps encore, on ait recours au baromètre pour déterminer le profil en long d'une route. A cause de l'impossibilité de

multiplier au delà d'une certaine limite les observations barométriques, par suite des conditions nécessaires à leur installation et de la dépense qui en résulterait, on se trouvera obligé, par exemple, de n'avoir qu'un poste d'observations tous les 10 kilomètres, comme dans le comptage fixe, et encore ne pourra-t-on pas toujours placer les postes là où l'on suppose que l'altitude est moyenne, à cause de la nécessité de trouver une maison pour abriter l'observateur et l'instrument. Par suite, on obtiendra ou l'on croira obtenir le profil en long de la route en supposant que l'altitude, sur toute l'étendue de la section répondant à chaque poste, est la même que celle qui aura été obtenue au poste d'observations. N'est-il pas bien certain que l'on n'aura ainsi qu'un profil en long fort incomplet et fort inexact et que l'emploi du niveau, au contraire, permet de l'obtenir avec toute l'exactitude et tous les détails désirables ? Eh bien ! le baromètre, c'est le comptage fixe qui donne uniquement la circulation à des points distants l'un de l'autre de 10 kilomètres en moyenne et que l'on ne peut pas toujours choisir comme on le voudrait à cause de la nécessité de trouver une maison pour que l'observateur puisse s'y abriter la nuit avec son fanal. De même que le relief d'une route présente presque toujours d'énormes variations sur une étendue de 10 kilomètres, de même sa circulation en présente presque toujours d'aussi grandes, avec cette différence que les inégalités de relief sont apparentes à la vue, ce qui serait d'un certain secours pour placer les postes d'observations, tandis qu'il en est autrement pour la circulation, surtout si l'on s'abstient de prendre note des voitures rencontrées. Par suite, le comptage stationnaire ne permet pas d'évaluer la circulation d'une route avec plus d'exactitude que le baromètre ne permettrait d'en dresser le profil en long. Quant au comptage ambulant, il est au comptage fixe ce que le niveau est au baromètre. De même que le niveau permet d'obtenir le relief de la route avec

tous les détails possibles, rapprochant les cotes autant qu'il est nécessaire, de même le comptage ambulant donne le moyen d'obtenir la circulation avec des détails semblables, permettant de multiplier les sections autant qu'il est nécessaire, faisant connaître avec une égale certitude, soit la circulation détaillée, soit la circulation moyenne d'une route. Que l'on ne dise pas d'ailleurs qu'il n'est pas utile de connaître la circulation d'une route avec les mêmes détails que son relief. Cela est, au contraire, beaucoup plus important, au moins pour l'entretien. Il importe fort peu en effet, à ce point de vue, de savoir si la pente d'un kilomètre est de 1 ou 2 centimètres par mètre, tandis qu'il importe beaucoup de savoir si la circulation est de 100 ou de 200 colliers, attendu que, suivant qu'il en sera ou non ainsi, le cube de matériaux à fournir devra varier du simple au double.

Tels sont les avantages du comptage ambulant et les simplifications que la pratique a permis d'introduire à cette méthode. Son application, mieux encore que tout ce qu'on pourrait ajouter à ce qui vient d'être dit, fera voir combien le comptage ambulant l'emporte sur le comptage fixe, non-seulement en économie, mais en exactitude ; on pourra, par suite, déterminer la circulation avec une précision inconnue jusqu'ici. Peut-être alors verra-t-on s'évanouir quelques illusions ; la circulation moyenne de certaines routes, de certains départements même, descendra notablement au-dessous des chiffres auxquels on était habitué, comme aussi le contraire arrivera autre part; mais du moins on obtiendra des renseignements sérieux que l'on pourra utiliser en toute confiance, soit pour la répartition des crédits d'entretien, soit pour l'évaluation du trafic des chemins de fer en projet, soit dans tout autre but.

ANNEXES.

1° Instructions pour l'usage du comptage ambulant.

Les routes doivent être, au préalable, divisées en sections comprenant autant que possible des parties où la circulation soit sensiblement uniforme. On doit adopter de préférence, pour limites des sections, des embranchements de routes ou chemins importants, attendu que ces embranchements font varier brusquement la circulation. Néanmoins, à moins de circonstances exceptionnelles, l'étendue des sections ne devra pas être inférieure à 1 kilomètre, comme aussi elle ne devra pas dépasser 10 kilomètres.

Les comptages sont de deux sortes : les comptages réglementaires et les comptages de vérification. Les comptages réglementaires sont faits par les conducteurs et les chefs-cantonniers; ils doivent toujours avoir lieu à pied. Les comptages de vérification sont faits par les ingénieurs; ils sont généralement faits en voiture. Par mois chaque conducteur fournit un comptage et chaque chef-cantonnier en fournit deux, en profitant pour cela de leurs tournées de service; il doit donc y avoir trente-six comptages par an, dont dix-huit dans chaque sens. Ils doivent être également répartis entre tous les jours de la semaine, sauf le dimanche où l'on ne fait pas de comptages. Il doit donc y avoir par an, dans chaque sens et sur chaque section, trois comptages le lundi, trois le mardi, trois le mercredi, trois le jeudi, trois le vendredi et trois le samedi. En outre, les comptages doivent être également répartis entre les diverses heures de la journée. Par journée, on entend la période du jour où les cantonniers sont astreints à se trouver sur les routes; c'est aussi celle pendant laquelle doivent avoir lieu les tournées des agents chargés de les surveiller.

Les observateurs (conducteurs et chefs-cantonniers) consignent leurs observations sur un *carnet de comptages* (modèle n° 1). Les instructions qu'ils doivent suivre, à cet effet, sont imprimées en tête du carnet. (Voir ci-après le description du carnet de comptages.)

Au commencement de chaque mois, chaque conducteur adresse à l'ingénieur ordinaire un *Relevé des comptages faits pendant le*

mois précédent (modèle n° 2). Sur ces feuilles sont imprimées les instructions nécessaires pour les remplir. (Voir ci-après la description du modèle n° 2).

Les résultats des feuilles mensuelles de comptages sont consignés sur un *registre de comptages* (modèle n° 3) tenu par chaque ingénieur ordinaire. Les heures et les durées (colonnes 5, 6, 7 et 8) doivent être toujours inscrites en nombres de minutes comme sur les feuilles mensuelles. Il en résulte que le total de la colonne 6, moins le total de la colonne 5, doit être égal au total de la colonne 7, plus le total de la colonne 8. D'un autre côté, le total de la colonne 9, plus le total de la colonne 10, moins le total de la colonne 11, doit être égal au total de la colonne 12, moins celui de la colonne 13.

Les comptages réglementaires faits par les conducteurs et les chefs-cantonniers devant toujours avoir lieu à pied; tout comptage fait exceptionnellement par eux en voiture serait annulé ou considéré comme comptage de vérification. On annulera également les comptages faits les jours de foire ou dans des conditions exceptionnelles, sauf à en tenir compte dans une certaine mesure. Quant aux comptages qui paraîtraient entachés d'erreur, ils seront rigoureusement annulés et les conducteurs seront tenus d'en refaire ou faire refaire d'autres le mois suivant afin que le nombre réglementaire de comptages à produire par eux dans l'année soit complété. Les comptages faits par les ingénieurs à titre de vérification seront aussi consignés sur le registre de comptages, mais ils seront séparés des comptages réglementaires; un certain nombre de lignes sera réservé à cet effet au bas de chaque page.

En général, il y aura un registre par année; mais, si l'on devait consigner sur un même registre des observations appartenant à plusieurs années, on en ferait mention dans la colonne d'observations.

Tous les ans, dans le courant du mois de janvier, l'ingénieur ordinaire adressera à l'ingénieur en chef le *résumé* (modèle n° 4) *des comptages* portés sur son registre pendant l'année précédente. Ce résumé est divisé en deux parties; dans la première, se trouvent les comptages par sections; dans la seconde, se trouvent les circulations moyennes par routes obtenues à l'aide des comptages réglementaires et en regard les circulations trouvées par les ingénieurs à l'aide des comptages de vérification. On devra produire deux états distincts : l'un pour les routes nationales, l'autre pour les routes départementales.

Pour obtenir la circulation moyenne d'une section, répondant

à un certain nombre de comptages, il faut d'abord faire le total des nombres inscrits dans les colonnes 8, 9, 10 et 11 du registre des comptages, puis ajouter entre eux les totaux des colonnes 9 (O) et 10 (M'), en retrancher le total de la colonne 11 (M''), ajouter trois zéros à la droite du reste et diviser le nombre ainsi formé par le total de la colonne 8 (T). Le quotient de cette division donne, en colliers, ce que l'on est convenu d'appeler *circulation proportionnelle*. Cette circulation suffit dans la plupart des cas ; toutefois, elle est un peu supérieure à la circulation *réelle*, ce qui tient en particulier à ce que l'on ne fait pas de comptages le dimanche. On obtiendra la circulation *réelle* avec une exactitude suffisante en multipliant la circulation *proportionnelle* par 0,84 si l'on doit compter les voitures vides autant que les voitures chargées, et par 0,73 si l'on ne veut compter les voitures vides que pour un quart.

La circulation moyenne de toute une route, ou plus généralement d'un certain nombre de sections, s'obtient en ajoutant respectivement entre eux les totaux des colonnes T, O, M', M'' répondant à chaque section, puis en opérant sur ces totaux comme on vient de l'indiquer plus haut pour la circulation moyenne par section. Toutefois la circulation ainsi obtenue n'est exacte qu'à la condition qu'il aura été fait dans chaque section un nombre égal de comptages, soit 36 par an ; si, par suite de circonstances exceptionnelles, il n'en était pas ainsi, il faudrait réduire ou augmenter proportionnellement les nombres T, O, M', M'' des sections où il aurait été fait plus ou moins de 36 comptages. Ainsi, si, dans une section, on avait trouvé $T = 2.186'$, $O = 724^c$, $M' = 242^c$, $M'' = 87^c$ et que l'on eût fait 40 comptages au lieu de 36, chacun des nombres ci-dessus devrait être réduit dans la proportion de 36 à 40 et, par suite, multiplié par $\frac{36}{40} = 0,9$; ce seraient donc les nombres

$$T = 1967', \quad O = 652^c, \quad M' = 218^c \text{ et } M'' = 78^c$$

sur lesquels il faudrait opérer.

Outre l'envoi annuel du résumé des comptages qui est de rigueur, l'ingénieur ordinaire enverra des résumés partiels à l'ingénieur en chef, dans le courant de l'année, autant de fois qu'ils lui seront demandés.

Dans le mois de février de chaque année, l'ingénieur en chef rédige pour le département, et chaque ingénieur ordinaire pour son arrondissement, une récapitulation des comptages faits pendant l'année précédente (modèle n° 5). Une copie de cette récapi-

tulation est adressée par l'ingénieur en chef à l'administration supérieure si celle-ci la demande. Cette récapitulation donne non-seulement la circulation *proportionnelle* obtenue pendant l'année précédente à l'aide du comptage ambulant, mais sa comparaison avec les circulations semblables obtenues pendant les trois années antérieures. Il donne aussi la valeur de la circulation *réelle* et sa comparaison avec celle qui a été obtenue lors du dernier comptage fixe.

Comme pour le modèle n° 4, on doit fournir, pour le modèle n° 5, un état particulier pour les routes nationales et un autre pour les routes départementales.

2° Renseignements sur la manière de dresser les imprimés nécessaires à l'usage du comptage ambulant.

Nous aurions désiré donner ici des spécimens complets des imprimés nécessaires à l'usage du comptage ambulant, et même des exemples faisant voir la manière dont ils doivent être remplis: mais ils n'auraient pu cadrer que difficilement avec le format des *Annales*; il nous a paru préférable, dès lors, de nous borner à donner les renseignements nécessaires pour les dresser (*). Nous croyons d'ailleurs devoir le faire aussi complétement que possible, car si l'on veut obtenir des imprimés d'un usage commode, il convient que toutes les dispositions en soient établies avec un soin minutieux, ce que nous nous sommes efforcé de faire.

Ces imprimés, comme on l'a vu dans les instructions qui précèdent, sont au nombre de cinq, à savoir :

Modèle n° 1. — Carnet de comptages.
— n° 2. — Relevé mensuel des comptages.
— n° 3. — Registre des comptages.
— n° 4. — Résumé des comptages.
— n° 5. — Récapitulation annuelle des comptages.

1° *Modèle n° 1. Carnet de comptages.* — Ce carnet est entièrement conforme comme dimensions aux carnets d'attachements;

(*) Ces spécimens sont déposés à la Bibliothèque de l'École des ponts et chaussées.

les premières pages portent des indications analogues, si ce n'est que le mot *attachements* est remplacé par le mot *comptages ;* puis viennent les instructions ci-après :

Les comptages réglementaires seront faits par les conducteurs et les chefs-cantonniers. Les ingénieurs devront en faire également pendant leurs tournées, à titre de vérification.

Les conducteurs, dès qu'ils auront reçu leur carnet de comptages et ceux de leurs chefs-cantonniers, commenceront par remplir les indications qui se trouvent en tête de chaque feuillet. Un seul feuillet sera d'abord réservé pour chaque section et dans chaque sens.

Dans les colonnes 4 et 5, pour éviter les confusions, on devra indiquer les heures du matin par la lettre *m*, les heures du soir par la lettre *s* et les minutes par le signe ′. Ainsi 7 heures 36 minutes du matin s'écrira $7^m 36'$ et 4 heures 8 minutes du soir s'écrira $4^s 8'$.

Les observateurs devront donner les heures à une minute près et non à 10 ou 5 minutes près. Cette observation est essentielle; sans cela, les comptages perdraient de leur exactitude. Par conséquent, les chiffre 5 ou 0 ne devront pas revenir plus souvent que les autres à la fin des nombres de minutes.

Dans les colonnes 6, 7 et 8, on prendra note des voitures par des chiffres inscrits à la suite l'un de l'autre, indiquant le nombre de colliers attelés à chaque voiture. Ainsi 11322 placé dans la colonne 8 signifiera que l'observateur a rencontré successivement deux voitures à 1 collier, une voiture à 3 colliers et deux voitures à 2 colliers allant dans le même sens que lui et qui l'ont dépassé. Il est inutile de séparer les chiffres par des virgules ou autrement attendu qu'on ne rencontrera, pour ainsi dire, jamais de voitures attelées de plus de 9 colliers et que, dès lors, il ne sera pas possible de faire de confusion. Si cependant le cas se présentait, les nombres indiquant plus de 9 colliers seraient mis entre parenthèses. Ainsi 11 (11) 1 placé dans la colonne 7 voudra dire que l'observateur a rencontré successivement deux voitures à 1 collier, une voiture à 11 colliers et une voiture à 1 collier marchant dans un sens opposé au sien.

On ne tiendra aucun compte des voitures en stationnement. Sont considérées comme telles celles qui sont en chargement ou en déchargement ou qui étant complétement chargées ou déchargées, ne sont pas accompagnées de leur conducteur.

Sur la page intitulée : *Observations et renseignements*, on indiquera toutes les circonstances qui ont pu influer sur la circula-

tion ou sur la marche de l'observateur, telles que foires, marchés, fêtes locales, distributions de prix, convois d'artillerie ou de prestataires, mauvais temps ou mauvais état de la route, stationnement pour visiter les cantonniers, vérifier les matériaux, etc., etc. En général, les comptages ne devront pas être interrompus par ces dernières opérations; mais, s'il y a interruption, il est essentiel de le dire dans cette colonne en donnant le nombre exact de minutes pendant lequel on a cessé de compter. Il convient aussi de faire connaître la durée des stationnements qui n'ont pas entraîné d'interruption dans les comptages.

Lorsque l'observateur sera en voiture, il devra en faire mention dans la colonne d'observations. Ceci concerne les ingénieurs seulement, car les conducteurs et chefs-cantonniers doivent toujours faire leurs comptages à pied.

Le carnet de comptages devra être rempli directement pendant la tournée, soit à l'encre, soit au crayon. Il est formellement interdit aux observateurs, soit de gratter, soit d'effacer, de surcharger ou de passer à l'encre après coup aucune des indications prises sur les lieux et inscrites dans les colonnes 4, 5, 6, 7 et 8. S'ils font une erreur, ils doivent biffer les écritures erronées en les laissant apparentes et en le mentionnant sur la page réservée pour les observations.

Après la fin de la journée, les observateurs passent à l'encre les chiffres des colonnes 1, 2 et 3 et remplissent à l'encre les colonnes 9, 10 et 11.

Quant les carnets de comptages sont terminés, ils sont remis à l'ingénieur, qui les vise *ne varietur*.

Après les instructions commence le carnet proprement dit. Les pages de rang impair, ou autrement dit les versos, sont toutes semblables et portent simplement en titre : *Observations et renseignements*. Les pages de rang pair, ou autrement dit les rectos, portent un tableau imprimé disposé en colonnes verticales dont voici les numéros, les titres et les largeurs :

NUMÉROS.	TITRES.		LARGEUR.
1	Numéros des observations		$0^m,008$
2	Jours de la semaine		0 ,010
3	Date et mois		0 ,016
4	Heure où l'on a	commencé de compter	0 ,016
5		fini de compter	0 ,016
6	Voitures allant dans un sens opposé à la marche de l'observateur (O)		0 ,044
7	Voitures allant dans le même sens que l'observateur	ayant dépassé l'observateur (M').	0 ,024
8		dépassées par l'observateur (M'').	0 ,016
9	Totaux des	O	0 ,011
10		M'	0 ,011
11		M''	0 ,011
		Total	$0^m,183$

En tête, il est bon d'imprimer alternativement les titres ci-après :

Route n° section n° ayant une longueur de
Sens direct, allant de l'origine de la section (point métrique) à son extrémité (point métrique).

Route n° section n° ayant une longueur de
Sens inverse, allant de l'extrémité de la section (point métrique) à son origine (point métrique).

NOTA. — Les titres ci-dessus doivent contenir dans deux lignes prenant seulement ensemble une hauteur de	$0^m,015$
Les titres des colonnes verticales doivent contenir dans une hauteur de	0 ,029
La hauteur des colonnes verticales doit être de	0 ,086
Total	$0^m,130$

Modèle n° 2. Relevé mensuel des comptages (format tellière simple, imprimé des deux côtés).

Les deux pages de cet imprimé portent un tableau composé de 16 colonnes verticales dont voici les numéros, les titres et les largeurs.

NUMÉROS.	TITRES.	LARGEURS.
1	Routes	$0^{m},008$
2	Noms et grades des observateurs	0,014
3	Jours de la semaine	0,008
4	Jours du mois	0,008
5	Numéros des sections	0,008
6	Longueurs des sections	0,014
7	Heure à laquelle le comptage de chaque section a été commencé	0,014
8	Heure à laquelle le comptage de chaque section a été terminé	0,014
9	Durée des interruptions de comptages	0,010
10	Temps pendant lequel on a compté	0,014
11	Nombre de colliers allant dans le sens opposé à la marche de l'observateur (O)	0,010
12	Nombre de colliers allant dans le même sens que l'observateur et l'ayant dépassé (M')	0,010
13	Nombre de colliers allant dans le même sens que l'observateur et ayant été dépassés par lui (M'')	0,010
14	C (O + M' — M'') positifs	0,010
15	C (O + M' — M'') négatifs	0,010
16	Observations	0,027
	Total	$0^{m},189$

En tête de la première page doivent se trouver le titre et les mentions ci-dessous :

« Ponts et chaussées. — Département d arrondissement d Relevé des comptages faits pendant le mois d 187 dans la subdivision de M. conducteur. »

Nota. Les heures (colonnes 7 et 8) doivent être indiquées en minutes comptées à partir de minuit ; ainsi 5 heures 24 minutes du matin et 5 heures 24 minutes du soir s'écriront respectivement 324' et 1044'. Par conséquent, dans les colonnes 9 et 10, il ne devra figurer non plus que des nombres de minutes.

« 1° *Sens direct.* (L'observateur marche vers l'extrémité de la route.) »

Au bas de la page doit se trouver la note ci-dessous :

« Indiquer dans la colonne d'observations le motif des interruptions ; dire, en outre, s'il y a eu des temps d'arrêt sans interruptions, tels qu'inspection de cantonniers et donner leur durée ; dire s'il n'y a pas eu de foire, de marché ou d'autre cause ayant pu influer sur la circulation. »

En tête du tableau de la deuxième page, on doit imprimer :

« 2° *Sens inverse.* (L'observateur marche vers l'origine de la route.) »

A la fin de la deuxième page, on doit imprimer :

« Certifié conforme aux carnets de comptages par le conducteur soussigné.

« A le 187 .

« Vu et vérifié par l'ingénieur ordinaire soussigné qui certifie avoir porté les observations ci-dessus sur son registre de comptages, à l'exception de celles qu'il a biffées en rouge et qu'il propose d'annuler pour les motifs indiqués dans la colonne d'observations.

« A le 187 .

« Vu par l'ingénieur en chef soussigné.

« A le 187 . »

La hauteur libre des colonnes verticales doit être de $0^m,195$; le papier ayant $0^m,310$ de hauteur, il reste $0^m,115$, ce qui est suffisant pour les titres, y compris ceux des colonnes elles-mêmes, ainsi que pour les autres indications à imprimer, soit en haut, soit en bas des pages.

Modèle n° 3. Registre des comptages. — Il est entièrement conforme, comme format et dimensions, au *registre des tournées de l'ingénieur*. Les titres sont semblables, si ce n'est que le mot *tournées* est remplacé par le mot *comptages*. A la suite des titres, viennent les instructions reproduites plus haut, puis il est bon de réserver un certain nombre de feuillets en blanc destinés à recevoir le tableau des sections et les instructions que l'ingénieur en chef croirait devoir ajouter; six feuillets suffiront, en général, pour cela. Ensuite vient le registre proprement dit, en tête duquel on peut imprimer le sous-titre : *Résultat des comptages par sections*, à moins qu'on ne préfère l'écrire à la main pour éviter la composition d'une feuille spéciale. Toutes les pages du registre proprement dit portent imprimé un tableau composé de quatorze colonnes verticales dont voici les numéros, les titres et les largeurs :

NUMÉROS.	TITRES.	LARGEURS.
1	Numéros d'ordre des comptages	$0^m,011$
2	Noms et fonctions des observateurs	0 ,020
3	Jours de la semaine	0 ,008
4	Dates et mois	0 ,011
5	Heures auxquelles chaque comptage a été commencé	0 ,015
6	Heures auxquelles chaque comptage a été terminé	0 ,015
7	Temps pendant lequel le comptage a été interrompu	0 ,011
8	Temps pendant lequel on a compté (T)	0 ,014
9	Nombre de colliers allant dans le sens opposé à la marche de l'observateur (O)	0 ,010
10	Nombre de colliers allant dans le même sens que l'observateur et l'ayant dépassé (M')	0 ,010
11	Nombre de colliers allant dans le même sens que l'observateur et ayant été dépassés par lui (M'')	0 ,010
12	C (O + M' — M'') positifs	0 ,010
13	C (O + M' — M'') négatifs	0 ,010
14	Observations	0 ,034
	Total	$0^m,189$

Au-dessus de chaque page, il convient d'imprimer un titre composé de deux lignes ; la ligne supérieure est la même pour toutes les pages. Voici comment elle doit être conçue :

« Route n° , section n° comprise entre les points et sur une longueur de . »

La deuxième ligne porte, pour les pages de rang pair ou autrement dit VERSOS : *sens direct*; pour les RECTOS (pages de rang impair) : *sens inverse*. Il convient que ces mots soient imprimés au commencement de la ligne, afin que le reste puisse servir à inscrire diverses indications utiles, par exemple le nombre de minutes nécessaire pour que l'observateur puisse parcourir la section avec certaines vitesses déterminées. Rien de plus facile, d'ailleurs, que de calculer ces nombres de minutes. Ainsi lorsque la vitesse est de 6 kilomètres à l'heure, maximum que peut atteindre un agent faisant une tournée à pied, il met précisément une minute à parcourir un hectomètre, en sorte que le temps qu'il emploie à parcourir la section entière s'obtient en divisant par 100 la longueur de cette section exprimée en mètres. Lorsque la vitesse de l'observateur est de 3 kilomètres à l'heure, ce qui est un minimum, il met précisément deux minutes à parcourir 1 hectomètre, en sorte que le temps qu'il emploie à parcourir la section entière s'obtient en divisant par 100 le double de la longueur de cette section exprimée en mètres. Il en résulte que toutes les fois qu'un observateur accusera, pour le parcours d'une section, un nombre de minutes qui ne serait pas compris entre les limites ci-dessus, il y aura présomption d'erreur. Il est, d'ailleurs, bien entendu que les vitesses voisines de 6 kilomètres ne peuvent s'obtenir que lorsque l'observateur n'a eu à s'arrêter ni pour visiter les cantonniers ni pour autre cause, tandis que, s'il y avait beaucoup d'arrêts de ce genre, la vitesse pourrait exceptionnellement descendre au-dessous de 3 kilomètres. C'est, d'ailleurs, pour ce motif que nous recommandons d'indiquer dans les colonnes d'observations tous les temps d'arrêt avec leur durée, même ceux qui n'ont pas entraîné d'interruption dans les comptages, et il ne faut pas perdre de vue que très-peu doivent entraîner interruption.

La hauteur libre des colonnes verticales doit être de $0^m,247$; la hauteur des pages après le rognage qu'entraîne la reliure étant de $0^m,310$, il reste $0^m,063$, ce qui est suffisant pour les titres et les marges.

Modèle n° 4. Extrait du registre des comptages (format tellière double). — Les trois premières pages portent le même tableau ; il est divisé en quatorze colonnes verticales dont voici les numéros, les titres et les largeurs :

NUMÉROS.	TITRES.	LARGEURS.
1	Route	$0^m,012$
2	Sections de comptage	0 ,012
3	Points métriques des limites de sections	0 ,020
4	Longueur des sections	0 ,019
5	Nombre de comptages faits par le conducteur	0 ,010
6	Nombre de comptages faits par le chef cantonnier	0 ,010
7	Nombre de comptages total	0 ,010
8	Durée totale de ces comptages (T)	0 ,019
9	Nombre de colliers allant dans le sens opposé à la marche de l'observateur (O)	0 ,012
10	Nombre de colliers allant dans le même sens que l'observateur et l'ayant dépassé (M')	0 ,012
11	Nombre de colliers allant dans le même sens que l'observateur et ayant été dépassés par lui (M'')	0 ,012
12	Circulation totale $(O + M' - M'' = C)$	0 ,012
13	Circulation proportionnelle $\left(\frac{1000\,C}{T}\right)$	0 ,012
14	Observations	0 ,017
	Total	$0^m,189$

En tête du tableau de la première page, on doit imprimer le titre ci-après :

« Ponts et chaussées. Département d , arrondissement d .

« Résumé par sections des comptages faits sur les routes du au 187 . »

Il est inutile de rien imprimer en tête des tableaux des deuxième et troisième pages. La hauteur libre du tableau de la première page doit être de $0^m,215$; celle des deuxième et troisième pages doit être de $0^m,250$.

En tête de la quatrième page, on doit imprimer un tableau ayant pour titre : *Résumé par routes des comptages précédents.* Ce tableau doit se composer de dix-sept colonnes dont voici les numéros, les titres et les largeurs :

NUMÉROS.	TITRES.		LARGEURS.
1	Numéros des routes		$0^m,008$
2	Longueur		0 ,016
3	Comptages réglementaires.	Nombre de comptages	0 ,008
4		Durée totale des comptages	0 ,016
5		O	0 ,011
6		M′	0 ,009
7		M″	0 ,008
8		C	0 ,012
9		$\frac{1000\,C}{T}$	0 ,012
10	Comptages de vérification.	Nombre de comptages	0 ,008
11		Durée totale des comptages	0 ,014
12		O	0 ,008
13		M′	0 ,008
14		M″	0 ,008
15		C	0 ,012
16		$\frac{1000\,C}{T}$	0 ,012
17	Observations		0 ,019
		Total	$0^m,189$

Ce tableau, y compris les titres, doit avoir une hauteur de $0^m,150$; il est suffisant de réserver $0^m,030$ pour les titres, en sorte que la hauteur libre des colonnes doit être de $0^m,120$.

Au-dessous du tableau se trouve un espace laissé en blanc portant pour titre : *Observations et renseignements divers*. La hauteur de cet espace, y compris son titre, doit être de $0^m,100$. Enfin, au bas de la page, on imprimera :

« Dressé par l'ingénieur ordinaire soussigné.

« *Agen* , le 187 . »

Modèle n° 5. Récapitulation annuelle des comptages (format tellière double avec intercalaires. — Toutes les pages, ainsi que les intercalaires, portent un tableau composé de douze colonnes verticales dont voici les numéros, les titres et les largeurs :

NUMÉROS.	TITRES.	LARGEURS.
1	Arrondissement.	0m,018
2	Numéros des routes.	0 0,10
3	Numéros des sections du comptage	0 0,10
4	Points métriques des limites de sections.	0 ,021
5	Longueurs des sections ou des routes.	0 ,016
6	Circulation dite proportionnelle obtenue à l'aide du comptage ambulant en 187	0 ,014
7	187	0 ,014
8	187	0 ,014
9	187	0 ,014
10	Circulation dite réelle obtenue en multipliant le chiffre de 187 par	0 ,014
11	Circulation obtenue en 18 par le comptage fixe.	0 ,014
12	Observations.	0 ,030
	Total.	0m,189

Nous ferons remarquer qu'à la troisième colonne il faut réserver, à la suite du mot *comptage*, un espace en blanc suffisant pour qu'on puisse y écrire à la main les mots *ambulant* ou *fixe*. Il faut faire de même à la suite du mot *par* (colonne 10), afin qu'on puisse y écrire à la main le coefficient qui doit être appliqué.

En tête de la première page, on doit imprimer les titres et l'observation ci-dessous :

« Ponts et chaussées. Département d Arrondissement d

Routes

Récapitulation des comptages faits pendant l'année 187 . »

Cet état sera dressé, par les ingénieurs ordinaires, en trois parties. La première donnera les circulations par sections du comptage ambulant; la deuxième les donnera par sections du comptage fixe, et la troisième par routes. A la fin on donnera les circulations moyennes de toutes les routes de l'arrondissement. Une copie en sera adressée à l'ingénieur en chef dans la première quinzaine du mois de février de l'année qui suivra celle où les comptages ont été faits. A l'aide des états ainsi dressés, l'ingénieur en chef dressera une récapitulation générale par routes et par arrondissement, donnant les moyennes relatives à chaque arrondissement ; puis une récapitulation générale par routes sans distinction d'arrondissement, à la suite de laquelle se trouveront les moyennes applicables à l'ensemble des routes du département. On dressera toujours des états distincts pour les routes nationales et pour les routes départementales.

Au-dessous du tableau de la dernière page, on devra imprimer :

« Dressé par l'ingénieur soussigné.

« A , le 187 . »

La hauteur libre des colonnes devra être de 0m,125 pour la première page, de 0m,180 pour la dernière et de 0m,250 pour les autres ; le surplus sera suffisant pour les titres, les observations, les marges, etc.

Cet état doit être divisé en trois parties qui doivent avoir respectivement pour titres :

1° *Récapitulation par sections du comptage ambulant pour les quatre dernières années;*

2° *Récapitulation par sections du comptage fixe donnant la circulation trouvée par le comptage ambulant en* 187 , *comparée à celle qui a été trouvée par le comptage fixe en* 18 ;

3° *Récapitulation par routes.*

L'état commençant nécessairement par la première partie, il est bon d'imprimer le premier titre en tête du tableau de la première page ; quant aux autres, il faut nécessairement les inscrire à la main, attendu que l'on ne sait pas à l'avance quelle étendue occuperont les parties qui précèdent.

Il convient de faire observer que les chiffres de la colonne 4 doivent être placés dans les interlignes. Ces chiffres, en effet, indiquent les points métriques des limites de sections, et il est rationnel que tout ce qui se rapporte à une section soit inscrit dans l'intervalle qui sépare les indications de l'origine et de l'extrémité de cette section.

Pour la première partie, on devra inscrire le mot *ambulant* dans l'espace réservé, à cet effet, au titre de la colonne 3, et les sections indiquées seront, par suite, celles du comptage ambulant, lesquelles sont généralement beaucoup plus nombreuses que celles du comptage fixe. Dans la colonne 9, on inscrira les chiffres obtenus pendant l'année qui vient d'expirer au moment de la rédaction de l'état; dans les colonnes 8, 7 et 6, on inscrira ceux qui se rapportent aux années précédentes. Par suite, dans le premier état produit, la colonne 9 sera seule remplie, et les colonnes 6, 7 et 8 resteront en blanc. Dans la première partie, on devra naturellement laisser en blanc les colonnes 10 et 11 : la première parce qu'il est inutile de la remplir ; la seconde parce que ce serait impossible.

Dans la deuxième partie, le mot *fixe* sera inscrit à la suite du mot *comptage* au titre de la colonne 3. Par suite, les chiffres à inscrire dans cette colonne et les suivantes sont ceux qui se rapportent au comptage fixe dont les sections comprennent, en général, plusieurs sections du comptage ambulant ; il est, d'ailleurs, essentiel, que les sections du comptage ambulant forment toujours des subdivisions du comptage fixe ; sans cela il serait difficile de comparer entre eux les résultats fournis par les deux méthodes. Il est d'ailleurs entendu que, dans cette partie, toutes les colonnes doivent être remplies. L'année à inscrire dans la colonne 10 est celle qui vient de s'écouler ; ce sont les résultats recueillis pendant sa durée qui doivent seuls être réduits, afin qu'on puisse les comparer à ceux du dernier comptage fixe.

Aucune explication nouvelle ne nous paraît nécessaire pour la manière de dresser la troisième et dernière partie.

Peut-être trouvera-t-on minutieuses les explications qui précèdent, mais elles nous ont paru utiles, tant pour faciliter l'impression des formules que leur usage.

La marche que nous avons indiquée suffit, comme on le voit, pour déterminer complétement la circulation ; elle peut donc, à plus forte raison, suffire pour vérifier les résultats du comptage fixe. La circulaire ministérielle du 23 août dernier, conseillant uniquement à ce titre l'emploi du comptage ambulant, on peut se demander s'il ne serait pas possible de simplifier encore l'application de la méthode dès l'instant où elle ne doit servir qu'à ce but restreint; c'est ce que les ingénieurs qui voudront en faire usage pourront rechercher ; pour nous, cela ne nous a pas paru possible. D'ailleurs nous avons été à même de vérifier que l'application complète du comptage ambulant n'offre aucune difficulté. Avant de charger les ingénieurs ordinaires de la tenue du registre des comptages, nous avons d'abord fait tenir dans notre bureau un registre unique pour tout le département, ce qui n'a pas pris un temps considérable. Ce registre a été confié au commis d'ordre, qui a pu s'en acquitter sans négliger en rien ses autres fonctions; ce travail sera encore plus facile lorsqu'il sera réparti entre les ingénieurs ordinaires ; c'est, d'ailleurs, celui qui prend le plus de temps.

Nous terminons en priant ceux de nos collègues qui voudront appliquer le comptage ambulant de ne pas perdre de vue qu'il y a toujours certaines difficultés à vaincre au début de l'application de toute méthode nouvelle ; l'expérience que nous avons faite de celle-ci, depuis longtemps et dans divers services, nous a prouvé

que ces difficultés sont faciles à surmonter. Nous devons dire que nous n'avons pas eu à lutter, jusqu'ici, contre une de celles que nous redoutions le plus : nous voulons parler de la mauvaise volonté des agents chargés de la surveillance des routes; ces agents pouvaient objecter, en effet, que l'application du comptage ambulant gênait les opérations à faire par eux dans leurs tournées, alors qu'il permet uniquement de mieux contrôler l'emploi de leur temps; c'est une nouvelle preuve, d'ailleurs, du dévouement que les employés des ponts et chaussées de tous les ordres apportent à l'accomplissement de leurs fonctions.

Agen, le 1er décembre 1875.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Janvier 1876.

N° 5

SOCIÉTÉ AMICALE DE SECOURS des anciens élèves de l'École Polytechnique (*).

DISCOURS

PRONONCÉ LE 19 DÉCEMBRE 1875, A L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ANNUELLE,

Par M. CAILLAUX, Ministre des Travaux publics.

Les anciens élèves de l'École Polytechnique, membres de la *Société amicale de secours*, se sont réunis pour la septième fois, le dimanche 19 décembre 1875, sous la présidence de M. Caillaux, ingénieur des ponts et chaussées, ministre des Travaux publics, qui, en prenant place au fauteuil, a prononcé le discours suivant:

« Messieurs et chers camarades,

« Depuis 1869, notre société amicale de secours s'est réunie trois fois: une première fois en 1872, sous la présidence du vénéré doyen des anciens élèves, du savant M. Mathieu qui, pendant qua-

(*) Fondée en 1865, la Société compte dix années d'existence, et le rapport de son secrétaire (*le commandant Pradelle*) a fait ressortir l'extension rapide qu'elle a prise, en résumant les résultats obtenus pendant cette première période décennale.

Les deux premières assemblées générales se sont tenues à la Sorbonne, toutes les autres à l'École même, dans l'amphithéâtre de chimie.

rante-cinq ans, a été successivement répétiteur, professeur, examinateur; il n'est aucun de nous qui l'ait oublié. Il vous a retracé l'origine de l'École, rappelé les services rendus par les officiers, par les ingénieurs qu'elle a fournis, et, avec l'autorité qui lui appartenait, il a montré que les élèves qui en sont sortis ont toujours et partout apporté, dans l'exercice de leurs fonctions, le sentiment moralisateur qui est une des forces du pays.

« La seconde fois, en 1873, c'est un des chefs les plus éminents du corps des ingénieurs des ponts et chaussées, M. l'Inspecteur général Reynaud, qui, dans un langage élevé et sympathique, a fait le récit des travaux exécutés par les ingénieurs, des difficultés qu'ils ont à surmonter, qu'ils surmontent souvent avec talent et toujours avec courage. Il en pouvait parler mieux que personne celui qui a organisé et dirigé si longtemps les travaux d'éclairage et de balisage de nos côtes, et a rendu de si grands services à la marine de la France et du monde entier.

« Enfin, en 1874, c'est M. le général de Chabaud La Tour, le directeur des travaux de défense pendant le siége de Paris, qui a reconnu et honoré chez tous les anciens élèves de l'École le dévouement du soldat dont il a donné lui-même de si brillants exemples, et qui, après avoir rappelé les noms de ceux qui ont succombé pendant les récents événements qui ont affligé la patrie, nous adjurait de rester de bons et loyaux citoyens.

« Ces trois hommes éminents représentent ensemble dans leur type le plus élevé tous les élèves des promotions que l'École Polytechnique a fournis à nos services civils et militaires.

« C'est le savant d'abord, travailleur infatigable et modeste, qui transmet à ceux qui le suivent les connaissances qu'il a reçues et qu'il a développées plus tard par ses travaux personnels.

« C'est ensuite l'ingénieur qui fait exécuter nos grands travaux publics et qui dirige les exploitations de nos grandes compagnies industrielles.

« C'est enfin l'officier des armes spéciales qui, pendant la paix, applique le calcul et l'expérience à la construction et au perfectionnement de notre matériel militaire, et qui, pendant la guerre, verse généreusement son sang pour la défense du pays.

« J'éprouverais aujourd'hui quelque embarras, messieurs et chers camarades, à me trouver, après ceux que j'ai cités, appelé à présider votre réunion, si je ne pensais qu'en me choisissant vous avez seulement voulu honorer en moi le ministre du président de la République, de M. le maréchal de Mac-Mahon, qui après avoir vaillamment combattu devant l'ennemi, pour l'honneur et le salut de

la patrie, sait aujourd'hui lui conserver la paix, maintenir l'ordre, et qui ne se sert du pouvoir dont il a été investi qu'avec un esprit de conciliation et de désintéressement bien digne de l'hommage de tous.

« La confiance qu'il inspire au pays ne sera pas trompée. Vous y pouvez compter, comme il doit aussi pouvoir compter absolument sur le concours de tous les bons citoyens, et, à ce titre, sur le vôtre, car ce n'est pas seulement une instruction étendue que vous avez reçue à l'École Polytechnique, c'est encore une éducation qui inspire le respect des droits acquis, qui est basée sur l'esprit de sacrifice aux intérêts du pays, sur un très-vif et très-sincère amour de la liberté et de l'égalité, non pas de l'égalité chimérique qu'on obtiendrait par le renversement de tout ce qui est une force, de tout ce qui est une puissance, de tout ce qui est une richesse, de tout ce qui est une vertu ; mais de l'égalité qu'on peut obtenir par l'élévation des esprits et des cœurs, formés à comprendre également ce qui est bon et ce qui est bien, à servir également ce qui est vrai et ce qui est juste.

« Et, messieurs, vous avez encore cet avantage, ou plutôt vous rendez ce service que vous communiquez les mêmes sentiments à tous ceux qui servent à côté de vous. C'est ainsi, pour en citer un exemple, que les corps des gardes-mines et des conducteurs des ponts et chaussées comme les corps auxiliaires du génie ont acquis une réputation méritée d'honorabilité et de dévouement au service de l'État.

« On l'a bien vu pendant la guerre ; vous avez su exercer autour de vous l'influence qu'assure le courage et le patriotisme.

« On l'a bien vu depuis par la part que vous avez prise à la reconstitution de nos forces militaires et au développement si nécessaire de notre outillage national.

« Nous avons fait depuis cinq ans, chaque année, plus de travaux de canaux, de ports de mer, de chemins de fer qu'on n'en avait exécuté pendant les plus prospères des années précédentes, et nous nous préparons à en faire davantage encore pour lutter avec succès dans la bataille de la vie commerciale et industrielle. L'Assemblée nationale n'a pas hésité, par des lois récentes, à doter nos grands travaux des allocations nécessaires pour les étendre, les améliorer et les développer encore. Notre génération a vu le percement des Alpes et l'ouverture de l'isthme de Suez ; nous préparons, avec une confiance dans le succès que justifient de récentes études, l'exécution du tunnel sous la Manche.

« A côté de nous, nos camarades du génie et de l'artillerie réta-

blissent les travaux de défense du territoire et restituent à nos arsenaux les armes et les approvisionnements perdus pendant la guerre; ils étudient les modifications et les perfectionnements à y apporter, ils poursuivent l'application des découvertes de la science. Hier encore, l'un d'eux, le colonel du génie Laussedat, que je salue, en lui adressant d'ici, en votre nom comme au mien, une cordiale marque de sympathie, poursuivant ses expériences aérostatiques, était précipité sur le sol, victime de son dévouement aux recherches scientifiques dont il avait été chargé.

« De la part de tous, enfin, c'est le travail actif, persévérant, le travail qui élève et grandit les hommes, comme il élève et grandit les peuples, le travail dont vous avez appris à fournir *la plus grande somme possible dans le moindre espace de temps*, le travail qu'aucun de vous n'a abandonné, dans la vie militaire comme dans la vie civile, comme dans la vie industrielle à laquelle se sont voués quelques-uns que nous voyons, à la tête des grandes entreprises de nos compagnies de chemins de fer comme aussi des plus importants établissements de mines ou de métallurgie, partout aux premiers rangs.

« Ce n'est pas à dire que nous soyons sans défauts; on assure même le contraire et je n'ai pas de peine à le croire. On a par ce motif, à diverses époques, formé le projet de changer le mode de recrutement des divers services qu'occupent aujourd'hui les élèves sortis de l'École Polytechnique; mais on y a toujours renoncé, tant l'institution est vivace, tant l'arbre produit des fruits sains et nourrissants, quoique l'écorce en soit parfois un peu rude.

« Un des orateurs politiques de notre temps, nommé aujourd'hui sénateur et même académicien, conseillait il y a peu de temps à ses amis de rendre la République *aimable* pour la faire mieux accueillir, et il avait bien raison. J'emploierais volontiers son expression pour conseiller à nos jeunes camarades de s'efforcer d'unir au savoir, à la droiture du cœur, à la précision de l'esprit, les qualités *aimables* qui en augmentent le prix.

« Je ne veux pas insister et j'aurais d'ailleurs grand'peine à le faire, car outre qu'il ne m'appartient pas de juger personne, mon estime et mon respect pour les chefs des corps auxquels nous appartenons ont encore grandi depuis que j'ai vu de plus près la quantité de travaux qu'ils produisent, l'esprit de justice et de désintéressement qui les anime, et enfin, quoi qu'on en puisse dire, cette simplicité qui n'est peut-être pas toujours sans orgueil, mais qui est assurément sans vanité.

« Vous m'avez écouté, messieurs et chers camarades, avec une

bienveillance qui me touche profondément. Cette réunion, la place que vous m'y avez accordée, l'honneur que je ressens, resteront sûrement dans mes souvenirs au nombre des plus vifs et des plus émouvants. Je termine en vous en remerciant et en rendant hommage au sentiment de fraternité qui vous réunit ici.

« En venant en aide aux fils de nos camarades morts sans fortune avant d'avoir pu les élever, vous ne voulez pas seulement les mettre à l'abri de la faim et du froid, les soutenir dans leur jeune âge, vous voulez encore leur donner une éducation qui en fasse à leur tour d'honnêtes gens et de bons citoyens, ce qui est en ce monde le suprême bien et le suprême honneur. »

N° 6

M. DE BÉTANCOURT.

Parmi les plus anciens élèves-externes de l'École des ponts et chaussées, il en est un dont le souvenir s'est conservé à un double titre. Son nom revient chaque année, dans le cours de Navigation intérieure, à l'occasion d'un ingénieux système qu'il imagina pour économiser la totalité de l'eau employée au passage des écluses. Puis *M. de Bétancourt* a fait honneur à l'École, car il a été directeur général des voies de communication en Russie.

Nous trouvons ce dernier fait incidemment rappelé dans un article nécrologique qui a paru au *Journal des Débats* du 15 décembre. On y lit ce qui suit :

« La mort vient de frapper un des membres les plus distingués de la colonie russe de Paris : M. le lieutenant général Alphonse de Bétancourt vient de succomber à une longue et douloureuse maladie. Son origine était française. Les Bétancourt, comme les Ango, étaient des armateurs dieppois. Un Bétancourt conquit les îles Canaries. Ses descendants servirent l'Espagne. A la fin du siècle dernier, Catherine II appela à son service un ingénieur espagnol qui n'était autre qu'un descendant de la race chevaleresque des Bétancourt. Cet ingénieur était, en 1808, chef supérieur du génie civil de Russie. Ce fut lui qui engagea l'empereur Napoléon à lui prêter le concours de quelques ingénieurs des ponts et chaussées afin de réorganiser le corps des ingénieurs civils de

Russie. Alors, suivant une expression pittoresque du comte Molé, l'empereur fit cadeau à son frère de Russie de quatre ingénieurs qui dotèrent la Russie d'une école des ponts et chaussées semblable à celle de France. Cet immense service rendit populaire en Russie le nom de Bétancourt.... »

Les quatre ingénieurs auxquels fait allusion l'article du *Journal des Débats* habitaient encore la Russie en 1832. C'étaient: MM. Bazaine, inspecteur divisionnaire; Fabre et Potier, ingénieurs en chef, et Destrem jeune, ingénieur ordinaire. [Voir *Ann.* 1832, *État du personnel*, p. 25.]

E. M.

N° 7

BIBLIOGRAPHIE.

NOTICE BIOGRAPHIQUE SUR M. J. CALLON,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES,

Par M. JACQMIN, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

NOTE ANALYTIQUE

Par M. MALÉZIEUX, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

La dernière livraison des *Annales des mines* (la 4e de 1875) contient une notice biographique très-étendue sur M. J. Callon, inspecteur général des mines, mort le 8 juin 1875. L'auteur de cette notice est un ingénieur en chef, non pas des mines, mais des ponts et chaussées, M. Jacqmin. Il y a tant de liens entre les deux corps, que des détails circonstanciés et précis sur une personnalité aussi marquante que celle de M. Callon ne sauraient être indifférents pour les lecteurs des *Annales des ponts et chaussées*. Voilà pourquoi nous croyons devoir leur signaler le travail de M. Jacqmin.

Nous n'entreprendrons pas de l'analyser ici dans son entier; nous nous bornerons à en extraire quelques faits qui, recueillis au passage, pourront avoir pour d'autres l'intérêt qu'ils ont eu pour nous.

LES TROIS ÉCOLES DES MINES.

M. Callon a été pendant trentre-trois ans professeur : d'abord à l'École des mineurs de Saint-Étienne (1839-1845), puis à celle des maîtres-ouvriers mineurs d'Alais (1845-1848), enfin à l'École des mines de Paris (1848-1872).

L'École des mineurs de Saint-Étienne a été fondée par le gouvernement, en 1817, pour former des ingénieurs chargés de la direction des mines et des établissements métallurgiques; elle fournit aussi quelques sujets pour des emplois de gardes-mines.

L'École des maîtres-ouvriers mineurs d'Alais, instituée par une ordonnance royale du 22 septembre 1843, ne fut organisée en fait qu'en 1845. On la considère comme ayant été véritablement créée par M. Callon, qui en fut alors nommé directeur. Le but de cette école est de « donner une instruction théorique, modeste mais suffisante, à des jeunes gens justifiant, par la production de leur

« livret, qu'ils ont travaillé pendant un an au moins comme ou-« vriers dans une mine ». On n'exige pas d'autres connaissances pour l'admission que la lecture, l'écriture, les quatre règles et une orthographe passable. Présenté sous la forme la plus simple, l'enseignement comprend l'arithmétique et la géométrie élémentaire, l'arpentage, le dessin linéaire, les levés souterrains, des notions de physique, de chimie, de minéralogie, de géologie et d'exploitation des mines. Dans l'intervalle des leçons de chaque année, et pendant deux périodes différentes de trois mois chacune, les élèves sont exercés à la pratique du travail des mines dans les différentes exploitations du bassin minéralogique d'Alais. Un conseil d'administration réunit, savoir : le sous-préfet, un membre du conseil général, le maire d'Alais, l'ingénieur en chef des mines du département, l'ingénieur directeur de l'École et deux concessionnaires de mines.

M. Jacqmin signale la précision « polytechnique » qui a présidé à la rédaction des programmes d'études de cette école d'Alais : les tableaux de l'emploi du temps, les mesures d'ordre, de discipline et d'hygiène, la composition de l'ordinaire, etc. Et ces minutieux détails, si consciencieusement réglés, lui inspirent la réflexion suivante :

« Il est quelquefois question de modifier l'enseignement de l'É-« cole Polytechnique. On dit qu'il faut diminuer la théorie et « aborder de suite les idées pratiques. Rien de plus erroné, à mon « avis. Voici un homme des premiers de sa promotion, un des plus « forts en analyse, l'émule de Delaunay, eh bien ! personne ne « l'égalera dans l'organisation de son école d'Alais : il précisera « ce qu'il faut acheter d'huile pour la modeste cuisine de ses « élèves..... Quand l'enseignement donné à une seule promotion « produit des hommes comme Michel, Molard, Delaunay, Le Châ-« telier, Callon, pour ne parler que des morts, on peut dire que « cet enseignement laisse peu à désirer, et que, si une réforme « était à faire, il conviendrait de revenir au programme d'une « époque qui a donné tant d'hommes distingués au pays. »

Nous ne voudrions pas être moins discret que M. Jacqmin et citer d'autres noms dans cette vigoureuse promotion de 1834, qui est doublement et si dignement représentée à l'École des ponts et chaussées. Revenons donc à M. Callon.

Il a professé pendant vingt-trois ans à l'École des mines de Paris. « Dans ce long intervalle de temps, il a perfectionné sans « cesse l'ordre de ses leçons et le détail de son enseignement. « Mêlé de la façon la plus active à presque toutes les entreprises « minières de la France et à celles d'une grande partie du conti-

« neat, initié par sa connaissance des langues anglaise, allemande « et espagnole à tout ce qui se publiait sur l'art des mines, il rap- « portait tout à ses cours, et il a élevé (*en publiant ceux-ci*) un « véritable monument. »

Ce monument est malheureusement resté inachevé, la mort ayant interrompu la publication que M. Callon avait commencée en 1871 : pour le cours de machines comme pour le cours d'exploitation des mines, deux volumes seulement sur trois ont paru. Mais ces quatre volumes ont déjà rendu et rendront pendant longtemps encore de grands services. D'ailleurs les travaux manuscrits qu'a laissés M. Callon permettront probablement de compléter la publication. « Ce sera, disait sur sa tombe M. l'ingénieur en chef « des mines Dupont, ce sera le pieux labeur de M. Georges Callon, « et son premier travail d'ingénieur, de mener à bonne fin l'œuvre « remarquable de son père. » Notre jeune camarade est encore sur les bancs de l'École des ponts et chaussées : il fera honneur, nous l'espérons bien, à cet engagement pris en son nom.

COMMISSION CENTRALE DES MACHINES A VAPEUR.

M. Callon a fait partie pendant vingt-trois ans (1852-1875) de la *Commission centrale des machines à vapeur*.

On sait que cette commission est principalement composée d'ingénieurs des ponts et chaussées et des mines, « des ingénieurs « des deux corps les plus versés dans ces matières », écrivait en 1824 M. le directeur général Becquey. Son premier président a été M. de Prony ; M. Grüner est le quatrième.

Secrétaire-rapporteur de cette commission de 1860 à 1872, M. Callon ne lui a pas soumis moins de 428 rapports. Les objets traités peuvent se classer en quatre catégories, savoir :

1° Explosions ou accidents de chaudières ou de machines ;

2° Questions nombreuses et variées d'inventions ;

3° Questions techniques et contentieuses soulevées par l'application des ordonnances royales, des décrets impériaux et des arrêtés ministériels ;

4° Questions spéciales, telles que l'emploi des gaz comprimés, la circulation des machines sur les routes ordinaires, etc.

M. Callon a contribué pour une grande part à la transformation qu'a subie, par le décret du 25 janvier 1865, le régime légal des machines à vapeur. A l'ancienne réglementation ce décret substitua la liberté et la responsabilité. M. Jacqmin résume ainsi qu'il suit le régime actuel :

« L'administration publique ne se désintéresse pas des machines

« à vapeur ; elle est renseignée sur leur existence par une décla-
« ration obligatoire.

« Chaque constructeur peut donner à ses chaudières telle épais-
« seur qui lui convient ; mais il faut et il suffit que ces chaudières
« résistent à des épreuves définies.

« Enfin les ingénieurs de l'État continuent à exercer une certaine
« surveillance, mais leurs attributions sont simplifiées. Ils n'ont
« plus à exercer une sorte de tutelle générale ; ils veillent à l'exé-
« cution des dispositions réglementaires, au bon entretien des
« chaudières et des appareils de sûreté ; mais ils laissent aux tri-
« bunaux ordinaires le soin d'apprécier les dommages qui peuvent
« résulter du voisinage d'une machine à vapeur. »

M. Jacqmin cite à ce propos quelques passages d'un rapport remarquable, dans lequel M. Callon avait, au nom d'une sous-commission, rendu compte d'une vaste enquête et formulé des propositions de réforme. Quelques autres citations du même genre viennent un peu plus loin ; et l'auteur, habitué à chercher la morale de toute chose, ajoute la remarque suivante : « Servie, dit-il,
« par des ingénieurs qui écrivent les lignes que nous venons de
« copier, et dont elle fait des professeurs, l'administration fran-
« çaise est une administration libérale ; ce qui n'est pas libéral,
« c'est le pays lui-même, qui parle sans cesse de liberté, mais qui
« sans cesse aussi réclame la réglementation. »

La Commission centrale des machines à vapeur n'était pas le seul terrain pratique sur lequel la science profonde de M. Callon trouvât à s'exercer. Il était passé maître dans un art que le Ministre rappelait, hier même, à l'amphithéâtre de l'École Polytechnique, l'art de *fournir la plus grande somme possible de travail dans le moindre espace de temps* : il a constamment pris part, comme ingénieur-conseil ou comme directeur, à des exploitations minières ou métallurgiques de premier ordre, en France, en Belgique, en Espagne. Nous ne suivrons pas l'auteur dans cette partie de la notice, où pourtant abondent de très-curieux détails : on les trouvera dans les *Annales des mines*. En nous bornant à la partie classique d'une carrière si brillamment remplie, nous admettons comme un fait incontestable que les grandes entreprises auxquelles s'est associé, si heureusement pour elles, M. Callon, ont puissamment contribué à lui donner sur son auditoire cette *influence morale* qui, suivant M. Jacqmin, est nécessaire au succès d'un professeur.

Paris, 20 décembre 1875.

N° 8

CHEMINS DE FER FRANÇAIS.

NOTE

Sur les sommes déversées par les six grandes compagnies de chemins de fer, au profit du nouveau réseau, de 1864 à 1875.

Par M. L. AUCOC, président de Section au Conseil d'État.

Les *Annales des ponts et chaussées* ont publié récemment un très-intéressant mémoire de M. de Labry, ingénieur des ponts et chaussées, sur les rapports financiers établis pour la construction des chemins de fer entre l'État et les six principales compagnies de chemins de fer. Ce travail, beaucoup plus développé que l'étude de M. Aimé Jay sur le même sujet, insérée dans le *Journal des actuaires français* (juillet 1873 et avril 1874), a d'abord le mérite de présenter les stipulations financières des conventions dans de nombreux tableaux qui rapprochent les chiffres extraits des documents parlementaires ou des documents réunis au ministère des travaux publics et en font ressortir la portée et les effets actuellement constatés. Mais en outre, il donne, pour un certain nombre de points, le résultat des calculs personnels de M. de Labry, sur les conséquences que pourront avoir dans l'avenir les conventions qui, d'ailleurs, depuis la publication de ce travail, ont été notablement remaniées, soit quant aux chiffres, soit quant à certains détails du système, par les lois du 3 juillet 1875 pour la compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée, du 14 décembre suivant pour la compagnie du Midi, du 30 dé-

cembre pour la compagnie du Nord, du 31 décembre pour les compagnies de l'Est et de l'Ouest (*).

Toutefois il y manque un élément qui a une certaine importance et qu'il nous paraît utile de mettre en entier sous les yeux des lecteurs des *Annales*.

On sait qu'une des clauses des conventions impose aux compagnies l'obligation de pourvoir, avant l'État, à l'insuffisance des produits du second réseau, au moyen des revenus de l'ancien réseau, quand ils dépassent un chiffre déterminé, qu'on appelle revenu réservé. Cette combinaison, qui limite les bénéfices des actionnaires, a pris le nom de *déversoir*.

Dans quelles conditions a fonctionné le déversoir depuis 1864, époque où le régime, établi par les conventions, est entré en vigueur? Il y a là des chiffres intéressants à un double point de vue. D'une part, il est bon de savoir, pour chacune des compagnies, quels sont les excédants de bénéfice de son ancien réseau, quelles sont les sommes qu'elle déverse pour diminuer d'autant la garantie d'intérêt de l'État, et quelles en ont été les fluctuations. D'autre part, il est utile de constater quels ont été, sur ce point spécial, les résultats des travaux des commissions de vérification des comptes, instituées par le ministre des travaux publics pour l'application des clauses financières des conventions.

(*) Nous sommes heureux de saisir cette occasion de rappeler que, lorsque nous avons rédigé notre Étude sur la constitution du réseau des chemins de fer français, insérée aux mois de novembre et décembre 1874, dans la *Revue critique de législation et de jurisprudence*, nous avions eu sous les yeux un rapport manuscrit adressé au Conseil d'État par le ministre des travaux publics pour l'étude d'une question spéciale, et dans lequel M. de Labry donnait déjà les principaux éléments du travail qui a été publié par les *Annales*. Nous avions comparé, avec profit, ses tableaux à ceux qu'avait donnés M. Aimé Jaÿ, et avec les résultats des longues recherches que nous avions faites nous-même dans les documents parlementaires et dans les archives des commissions de vérification des comptes, dont nous avons l'honneur de diriger les travaux depuis 1871.

Dans son tableau n° 70, M. de Labry ne donne que la somme déversée pour l'année 1873 par quatre compagnies, celles de l'Est, du Midi, d'Orléans et de l'Ouest, et ce renseignement est donné d'après les rapports des conseils d'administration faits en 1874.

M. l'inspecteur général Morandière, dont la perte a été si justement regrettée, avait fait dresser en 1873, d'après les livres des six grandes compagnies et les rapports faits par les conseils d'administration, un tableau des sacrifices faits pour le nouveau réseau, depuis 1864 jusqu'à la fin de 1872, en y comprenant : 1° les sommes payées par l'État, à titre de garantie d'intérêt; 2° les sommes déversées par les compagnies sur les produits de l'ancien réseau; 3° les sommes, entrant dans la composition du revenu réservé, qui sont prélevées sur les produits de l'ancien réseau, pour parfaire la différence existant entre le taux de l'intérêt et de l'amortissement garanti par l'État, et le taux des charges qui, d'après les conventions, sont censées supportées par les compagnies pour leurs emprunts (*).

En empruntant à ce travail les chiffres qui se rapportent aux sommes déversées par les compagnies, et en le complétant par les renseignements donnés dans les rapports postérieurs des conseils d'administration, nous trouvons les résultats contenus dans le tableau suivant :

(*) D'après les conventions de 1859, de 1863 et de 1868, l'État ne garantissait l'intérêt et l'amortissement des dépenses faites pour le nouveau réseau que jusqu'à concurrence de 4,655 p. 100, et il était admis que les obligations émises par les compagnies, sauf celle du Nord, leur imposeraient en moyenne une charge de 5,75; la différence était donc de 1f,10. Pour la compagnie du Nord, la différence était seulement de 0f,85. Les nouvelles conventions approuvées par les lois des 14, 30 et 31 décembre 1875 ont dérogé à ce système pour les compagnies de l'Est, du Midi, du Nord et de l'Ouest. Pour ces compagnies, il n'y a plus de forfait à l'égard du taux de leurs emprunts : l'État leur tient compte des charges effectives; la différence entre le taux garanti et le taux effectif qui doit entrer dans la composition du revenu réservé, ne peut donc plus être fixée d'avance.

COMPAGNIES.	1864	1865	1866	1867	1868	1869
Est.	1 206.487,21	1.579.543,67	2.253.376,80	4.994.897,78	4.156.434,47	6.792 983,58
Midi.	»	977.430,90	1.984.464,97	3.216.681,94	3.555.381,29	2.129.316,77
Nord (*).	»	1.067.647,20	790.314,47	935.370,55	3.707.580,38	2.871.663,64
Orléans.	»	1.665.691,67	4.011.935,26	5.063.603,59	502.100.23	5.515.246,28
Ouest.	»	1.271.666,94	1.223.396,81	2.377.618,85	558.345,67	991.515,24
Paris-Lyon-Méditerranée (*).	»	7.289.498,26	16.369.095,51	24.153.597,67	24 988.839,83	8,317.818,20
Total par année.	1.206.487,21	13.441.478,64	26.632.583,82	40.741.770,38	37 468.681.87	26.618.543,71

COMPAGNIES.	1870	1871	1872	1873	1874	TOTAUX.
Est.	»	389.070,58	9.140.211,51	11.228.807,65	4.703.832,47	46.445.645,75
Midi.	379.020,55	8.013.195,26	4.840.595,70	6.837.880,81	6.839.964,23	38.373 933,05
Nord (*).	631.196,69	2.648.349,45	5.091.349,39	5.281.189,39	4.868.821,12	27.883.482,28
Orléans.	»	8.902.180,77	7.419.435,95	2.438.153,69	3 490.933,34	39 009.190,78
Ouest.	»	1 371.194,12	1.559.424,81	149.122,34	159.461,19	9.661.745,97
Paris-Lyon-Méditerranée (*).	8 697.123,10	13.291.784,30	13.996.729,58	17.379.881,28	16.736.387,22	131.220.754,95
Total par année.	9.707.340,34	34.615.774,48	42.047.746,97	43.315.035,16	36.799.399,57	312.594.752,78

(*) Les chiffres donnés pour la compagnie du Nord et pour la compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée, et qui se trouvent dans le compte de liquidation annexé au rapport des conseils d'administration, indiquent la totalité de l'insuffisance des recettes du second réseau pour subvenir à ses charges. Ces deux compagnies, n'ayant pas fait appel à la garantie d'intérêt, n'ont pas eu à distin- [illegible] versées à la décharge de la garantie d'intérêt de l'État et les sommes entrant dans la composition du revenu réservé pour faire face à la différence existant entre le taux d'intérêt et d'amortissement garanti par l'État et le taux effectif, tel qu'il est stipulé dans les conventions. Les chiffres qu'elles donnent sont bien, sauf vérification, ceux des sacrifices que leur impose le second réseau.

D'un autre côté, nous avons fait des recherches dans les rapports des commissions de vérification des comptes, approuvés par le ministre des travaux publics, et qui ont servi de base à la liquidation définitive de la garantie d'intérêt due par l'État aux compagnies de l'Est, du Midi, d'Orléans et de l'Ouest, jusqu'à l'année 1871 inclusivement, sauf les modifications qui y ont été apportées, en ce qui concerne la compagnie d'Orléans, à la suite de deux arrêts du Conseil d'État, du 12 juin et du 24 juillet 1874. Nous y avons trouvé les chiffres suivants, qui diffèrent des chiffres donnés par les rapports des conseils d'administration et les rectifient presque toujours au profit de l'État.

COMPAGNIES.	1864	1865	1866	1867
Est	1.916.932,78	3.262.007,52	4.086 729,31	6.789.984,02
Midi	»	1.133.990.78	2.948.269.69	3.462.715,41
Orléans	»	6.983.664,53	4.350.083.93	7.283.505,23
Ouest	»	1.185.263.00	1.489.653,50	2.296 784,67

COMPAGNIES.	1868	1869	1870	1871
Est	4.161.252,59	6.897.691,85	» (*)	3.253.774,63
Midi	3 399.686,37	2.213.713,66	453.398,12	» (**)
Orléans	2.721.905,49	8.488.725,50	509.102,76	7.998.383,54
Ouest	558 345,67	991.515,21	» (*)	1.378.439,12

(*) L'insuffisance des recettes de l'ancien réseau a été, en 1870, pour la compagnie de l'Est, de 5.134.337f,23; pour la compagnie de l'Ouest de 3.548.933f,84.
(**) La vérification n'est pas terminée.

On voit que le chiffre du déversoir a varié beaucoup, depuis 1864, non-seulement suivant les compagnies, mais suivant les années. Pour expliquer ces variations, il faudrait entrer dans de longs développements, non-seulement sur les causes qui ont affecté les recettes pendant certaines années, par exemple les années 1870 et 1871, mais en outre sur

la situation spéciale de chaque compagnie, sur la composition de l'ancien et du nouveau réseau, sur le moment où les insuffisances du nouveau réseau ont cessé d'entrer dans le compte de premier établissement, et sont venues grever le compte d'exploitation de l'ancien réseau. Il suffit d'avoir signalé les résultats et d'avoir mis nos lecteurs sur la trace des causes de ces différences.

On voit de plus, en rapprochant les deux tableaux, d'abord que le montant total des sommes déversées par les six grandes compagnies de 1864 à 1875 est, quant à présent, de 336.145.685f,07, — en second lieu, que la révision, faite par les commissions de vérification des comptes, a produit une augmentation du déversoir qui s'élève, de 1864 à 1871, à la somme de 23.550.932f,34. Ce n'est pas, il s'en faut de beaucoup, le seul résultat des vérifications, mais il nous a néanmoins paru mériter d'être mis en lumière à côté des chiffres qui sont l'objet principal de cette note.

N° 9

NOTE

SUR

LES CALCULS DE STABILITÉ DES POUTRES CONTINUES

REPOSANT SUR PLUS DE DEUX POINTS D'APPUI

ET AYANT DES MOMENTS D'INERTIE VARIABLES DANS LES DIFFÉRENTES SECTIONS VERTICALES.

Par M. KLEITZ, inspecteur général des ponts et chaussées.

Lorsque les poutres qui supportent le tablier d'un pont sont discontinues au droit des points d'appui, on obtient immédiatement les réactions de ces points par les règles de la statique élémentaire. On peut calculer les efforts tranchants et les moments de flexion, dans les diverses sections verticales d'une poutre, sans qu'il y ait à considérer la flexion qu'elle prend, puisque les efforts tranchants et les moments de flexion sont uniquement fonction des poids appliqués à la poutre. Mais lorsqu'une poutre continue repose sur plus de deux points d'appui, les réactions de ceux-ci, les efforts tranchants et les moments de flexion sont en outre fonction des moments d'inertie dans les différentes sections verticales.

La méthode employée jusqu'à présent pour les calculs de stabilité des poutres continues est basée sur l'hypothèse que le moment d'inertie est constant dans toute l'étendue de ces poutres. Or cette hypothèse étant tout à fait en désaccord avec la réalité, ces calculs présentent une incertitude qui n'existe pas pour les poutres discontinues. Cette incertitude n'est sans doute pas étrangère à la préfé-

rence dont sont l'objet ces dernières poutres, surtout pour les grandes portées, de la part de beaucoup d'ingénieurs qui s'attachent par-dessus tout à mettre les dispositions de la charpente des ponts en parfaite concordance avec la théorie qui sert à déterminer les dimensions de ses divers éléments.

Il est cependant facile d'établir, par des calculs peu compliqués, l'équilibre statique des poutres continues, presque avec le même degré d'exactitude que celui des poutres discontinues. Il est en tous cas utile de connaître l'importance des erreurs qu'entraîne l'hypothèse de la constance du moment d'inertie. C'est ce que je me propose de montrer dans la présente note.

Lorsque le moment d'inertie est invariable, le théorème des trois moments de flexion est exprimé par l'équation :

$$(1) \quad \left\{ \begin{array}{l} aM + 2(a+a')M' + a'M'' = \Sigma P \dfrac{d}{a}(a^2 - d^2) + \\ \quad \Sigma P' \dfrac{d'}{a'}(a'^2 - d'^2) + 6EI\left(\dfrac{y-y'}{a} + \dfrac{y''-y'}{a'}\right). \end{array} \right.$$

a et a' représentent les portées de deux travées consécutives, M, M' et M'' les moments de flexion sur leurs trois points d'appui, P et P' les poids qui sollicitent respectivement la première et la seconde travée, d et d' les distances des points d'application des divers poids P et P' à partir de celle des extrémités de chaque travée qui est la plus éloignée du point d'appui commun, et enfin y, y', y'' les ordonnées des trois points d'appui. E est le coefficient d'élasticité.

Dans l'équation ci-dessus, comme dans tout ce qui va suivre, je donne aux moments de flexion le même signe qu'aux rayons de courbure de la ligne passant par les centres de gravité des sections verticales, après la flexion de la poutre. Comme les ordonnées positives de cette ligne sont censées dirigées de haut en bas, de même que les

poids, les rayons de courbure sont positifs lorsque la courbe de flexion est concave dans le même sens.

Il s'agit de trouver la relation qui existe entre les moments M, M' et M'', en ayant égard à la variation du moment d'inertie I.

M. Bresse a résolu cette question depuis 1871 et a donné l'équation suivante (*) :

$$(2)\begin{cases} \dfrac{M}{a^2}\displaystyle\int_0^a \frac{x(a-x)dx}{EI} + M'\left[\frac{1}{a^2}\int_0^a \frac{(a-x)^2dx}{EI} + \right. \\ \left. \dfrac{1}{a'^2}\displaystyle\int_0^{a'} \frac{(a'-x')^2dx'}{EI'}\right] + \frac{M''}{a'^2}\int_0^{a'} \frac{x'(a'-x')dx'}{EI'} = \\ -\dfrac{1}{a}\displaystyle\int_0^a \frac{(a-x)\varphi(x)dx}{EI} - \frac{1}{a'}\int_0^{a'} \frac{(a'-x')\varphi'(x')dx'}{EI} + \frac{y-y'}{a} + \frac{y''-y'}{a'} \end{cases}$$

$\varphi(x)$ et $\varphi'(x')$ sont les moments de flexion en un point quelconque de l'une et de l'autre travées en les supposant discontinues au-dessus de leurs points d'appui, les abscisses x et x' doivent d'ailleurs se compter dans chaque travée, à partir de l'appui commun (**).

Avant que M. Bresse m'eût fait connaître cette équation fort élégante et très-facile à démontrer, j'en avais trouvé une dont la démonstration est beaucoup plus longue, mais qui, une fois obtenue, me paraît mieux se prêter aux applications pratiques. Au fond, elles sont nécessairement concordantes, et elles ne diffèrent évidemment que par la forme.

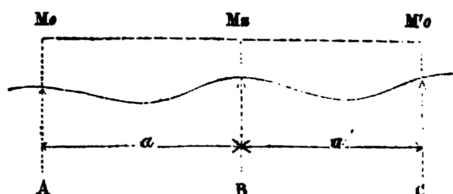
Concevons qu'on divise une travée de longueur a, en n parties égales, ayant une longueur λ, et dont chacune

---

(*) M. Macquorn Rankine avait obtenu, antérieurement, une équation toute semblable, sauf qu'il y faisait figurer des intégrales doubles et quadruples, ce qui est facile à éviter.

(**) Il est à remarquer que dans l'équation (2), telle que je l'ai écrite, les fonctions $\varphi'(x)$ et $\varphi'(x')$ ont toujours des valeurs négatives en raison du sens dans lequel les moments de flexion sont considérés comme positifs.

supporte un poids uniformément réparti sur sa longueur propre, et a un moment d'inertie constant.



Désignons pour les éléments λ successifs :

Les charges uniformes par. . . . $p_1, p_2, p_3, \ldots \ldots p_n$;
Les moments d'inertie par. . . . $I_1, I_2, I_3, \ldots \ldots I_n$;
Les efforts tranchants à l'origine de chaque élément par. . . . . . . $T_0, T_1, T_2, \ldots \ldots T_{n-1}$;
Les moments de flexion à l'origine de chaque élément par. . . . . . . $M_0, M_1, M_2, \ldots \ldots M_{n-1}$;
Les ordonnées de la courbe des centres de gravité des sections verticales à l'origine de chaque élément par. . . . . $y_0, y_1, y_2, y_3, \ldots y_{n-1}$;
Les tangentes des angles que cette courbe forme avec l'horizon, à l'origine de chaque élément, par. . . . $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \ldots \varphi_{n-1}$.

Pour un point quelconque pris à une distance x, de l'origine du premier élément, on a :

$$EI_1 \frac{d^2y}{dx^2} = M_0 - T_0 x + \frac{1}{2} p_1 x^2,$$

$$EI_1 \left(\frac{dy}{dx} - \varphi_0\right) = M_0 x - \frac{1}{2} T_0 x^2 + \frac{1}{6} p_1 x^3,$$

$$EI(y_1 - y_0) = \frac{1}{2} M_0 x^2 - \frac{1}{6} T_0 x^3 + \frac{1}{24} p x^4 + EI\varphi_0 x.$$

En faisant $x = \lambda$ dans ces trois équations, et en divisant les dernières par I, on a :

$$M_1 - M_0 = -\lambda T_0 + \frac{\lambda^2}{2} p_1,$$

$$E(\varphi_1 - \varphi_0) = \lambda \frac{M_0}{I_1} - \frac{\lambda^2}{2} \frac{T_0}{I_1} + \frac{\lambda^3}{6} \frac{p_1}{I_1},$$

$$E(y_1 - y_0) = \frac{\lambda^2}{2} \frac{M_0}{I_1} - \frac{\lambda^3}{6} \frac{T_0}{I_1} + \frac{\lambda}{24} \cdot \frac{p_1}{I_1} + \lambda E\varphi_0.$$

Pour le second élément λ, on a :

$$M_2 - M_1 = \lambda T_1 + \frac{\lambda^2}{2} p_2,$$

$$E(\varphi_2 - \varphi_1) = \lambda \frac{M_1}{I_2} - \frac{\lambda^2}{2}\frac{T_1}{I_2} + \frac{\lambda^3}{6}\frac{p_2}{I_2},$$

$$E(y_2 - y_1) = \frac{\lambda^2}{2}\frac{M_1}{I_2} - \frac{\lambda^3}{6}\frac{T_1}{I_2} + \frac{\lambda^4}{24}\frac{p_1}{I_1} + \lambda E\varphi_1.$$

En substituant dans ces équations les valeurs de M_1, φ_1 et y_1 tirées de celles qui concernent le premier élément, on trouve :

$$M_2 - M_0 = -\lambda(T_0 + T_1) + \frac{\lambda^2}{2}(p_1 + p_2),$$

$$E(\varphi_2 - \varphi_0) = \lambda\left(\frac{M_0}{I_1} + \frac{M_1}{I_2}\right) - \frac{\lambda^2}{2}\left(\frac{T_0}{I_1} + \frac{T_1}{I_2}\right) + \frac{\lambda^3}{6}\left(\frac{p_1}{I_1} + \frac{p_2}{I_2}\right),$$

$$E(y_2 - y_0) = \frac{\lambda^2}{2}\left(\frac{3M_0}{I_1} + \frac{M_1}{I_2}\right) - \frac{\lambda^3}{6}\left(\frac{4T_0}{I} + \frac{T_1}{I_2}\right) + \frac{\lambda^4}{24}\left(\frac{5p_1}{I_2} + \frac{p_2}{I_2}\right) + 2\lambda E\varphi_0.$$

Pour le troisième élément, on trouvera de la même manière :

$$M_3 - M_0 = -\lambda(T_0 + T_1 + T_2) + \frac{\lambda^2}{2}(p_1 + p_2 + p_3),$$

$$E(\varphi_3 - \varphi_0) = \lambda\left(\frac{M_0}{I_1} + \frac{M_1}{I_2} + \frac{M_2}{I_3}\right) - \frac{\lambda^2}{2}\left(\frac{T_0}{I_1} + \frac{T_1}{I_2} + \frac{T_2}{I_3}\right) + \frac{\lambda^3}{6}\left(\frac{p_1}{I_1} + \frac{p_2}{I_2} + \frac{p_3}{I_3}\right),$$

$$E(y_3 - y_0) = \frac{\lambda^2}{2}\left(\frac{5M_0}{I_1} + \frac{3M_1}{I_2} + \frac{M_2}{I_3}\right) - \frac{\lambda^3}{6}\left(\frac{7T_0}{I_1} + \frac{4T_1}{I_2} + \frac{T_2}{I_3}\right) + \frac{\lambda^4}{24}\left(\frac{9p_1}{I_1} + \frac{5p_2}{I_2} + \frac{p_3}{I_3}\right) + 3E\lambda\varphi_0.$$

En continuant ainsi jusqu'au n^e élément, on obtient pour celui-ci les équations ci-après :

$$(1)\quad \left\{ \begin{array}{l} M_n - M_0 = -\lambda(T_0 + T_1 + T_2 + \ldots\ldots T_{n-1}) + \\ \frac{\lambda^2}{2}(p_1 + p_2 + p_3 \ldots\ldots + p_n), \end{array} \right.$$

$$(2)\quad E(\varphi_n - \varphi_0) = \left\{ \begin{array}{l} \lambda\left(\frac{M_0}{I_1} + \frac{M_1}{I_2} + \frac{M_2}{I_3} + \ldots\ldots \frac{M_{n-1}}{I_n}\right) - \frac{\lambda^2}{2}\left(\frac{T_0}{I_1} + \frac{T_1}{I_2} + \frac{T_2}{I_3} + \right. \\ \left. \frac{T_{n-1}}{I_n}\right) + \frac{\lambda^3}{6}\left(\frac{p_1}{I_1} + \frac{p_2}{I_2} + \frac{p_3}{I_3} + \ldots\ldots \frac{p_n}{I_n}\right). \end{array} \right.$$

$$(3)\quad E(y_n - y_0) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\lambda^2}{2}\left[(2n-1)\frac{M_0}{I_1} + (2n-3)\frac{M_1}{I_2} + (2n-5)\frac{M_2}{I_3} + \ldots \frac{M_{n-1}}{I_n}\right. \\ \frac{\lambda^3}{6}\left[(3n-2)\frac{T_0}{I_1} + (3n-5)\frac{T_1}{I_2} + (3n-8)\frac{T_2}{I_3} + \ldots \frac{T_{n-1}}{I_n}\right. \\ \frac{\lambda^4}{24}\left[(4n-3)\frac{p_1}{I_1} + (4n-7)\frac{p_2}{I_2} + (4n-11)\frac{p_3}{I_3} + \ldots \frac{p_n}{I_n}\right. \\ n E \lambda \varphi_0. \end{array} \right.$$

Ces trois équations peuvent s'écrire comme il suit, l'indice i prenant successivement tous les nombres entiers depuis 1 jusqu'à n :

$$(4)\qquad M_n - M_0 = -\lambda \sum_1^n T_{i-1} + \frac{\lambda^2}{2}\sum_1^n p_i.$$

$$(5)\qquad E(\varphi_n - \varphi_0) = \lambda \sum_1^n \frac{M_{i-1}}{I_i} - \frac{\lambda^2}{2}\sum_1^n \frac{T_{i-1}}{I_i} + \frac{\lambda^3}{6}\sum_1^n \frac{p_i}{I_i}.$$

$$(6)\quad E[(y_n - y_0) - n\lambda\varphi_0] = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\lambda^2}{2}\sum_1^n (2n+1-2i)\frac{M_{i-1}}{I_i} - \\ \frac{\lambda^3}{6}\sum_1^n (3n+1-3i)\frac{T_{i-1}}{I_i} + \frac{\lambda^4}{24}\sum_1^n (4n+1-4i \end{array} \right.$$

Cette dernière équation peut encore être mise sous cette forme :

$$(6\,bis)\quad E[(y_n - y_0) - n\lambda\varphi_0] = \left\{ \begin{array}{l} (2n+1)\frac{\lambda^2}{2}\sum_1^n \frac{M_{i-1}}{I_i} - (3n+1)\frac{\lambda^3}{6}\sum_1^n \frac{T_{i-1}}{I_i} \\ (4n+1)\frac{\lambda^4}{24}\sum_1^n \frac{p_i}{I_i} - \frac{\lambda^2}{2}\sum_1^n 2i\frac{M_{i-1}}{I_i} + \\ \frac{\lambda^3}{6}\sum_1^n 3i\frac{T_{i-1}}{I_i} - \frac{\lambda^4}{24}\sum_1^n 4i\frac{p_i}{I_i}. \end{array} \right.$$

L'élimination de φ_0 entre les équations (5) et (6 *bis*) donne :

$$E[n\lambda\varphi_n-(y_n-y_0)]=\left\{\begin{aligned}&\frac{\lambda^2}{2}\sum_1^n(2i-1)\frac{M_{i-1}}{I_i}-\frac{\lambda^3}{6}\sum_1^n(3i-1)\frac{T_{i-1}}{I_i}+\\&\qquad\frac{\lambda^4}{24}\sum_1^n(4i-1)\frac{p_i}{I_i}.\end{aligned}\right.$$

Maintenant en ajoutant successivement, d'abord les relations qui donnent (T_1-T_0), (T_2-T_1), (T_3-T_2),..... et ensuite celles qui donnent (M_1-M_0), (M_2-M_1), (M_3-M_2),... on trouve :

(8) $$T_i=T_0-\lambda(p_1+p_2+p_3+\ldots\ldots p_i).$$

(9) $$\left\{\begin{aligned}M_i=M_0-i\lambda T_0+\frac{\lambda^2}{2}[(2i-1)p_1+(2i-3)p_2+\\(2i-5)p_3+\ldots\ldots p_i].\end{aligned}\right.$$

Par la combinaison de ces deux relations, on obtient les suivantes :

(10) $$\sum_1^n(2i-1)\frac{M_{i-1}}{I_i}=\left\{\begin{aligned}&\left(\frac{1}{I_1}+\frac{3}{I_2}+\frac{5}{I_3}+\frac{7}{I_4}+\ldots\ldots\ldots+\frac{2n-1}{I_n}\right)M_0-\\&\lambda\left[\frac{1.3}{I_2}+\frac{2.5}{I_3}+\frac{3.7}{I_4}+\frac{4.9}{I_5}+\ldots\frac{(n-1)(2n-1)}{I_n}\right]T_0\\&+\frac{\lambda^2}{2}\left\{\frac{3}{I_2}p_1+\frac{5}{I_3}(3p_1+p_2)+\frac{7}{I_4}(5p_1+3p_2+p_3)\right.\\&\qquad+\frac{9}{I_5}(7p_1+5p_2+3p_3+p_4)+\ldots+\\&\frac{(2n-1)}{I_n}[(2n-3)p_1+(2n-5)p_2+(2n-7)p\\&\qquad\left.+\ldots p_{n-1}]\right\}\end{aligned}\right.$$

(11) $$\sum_1^n(3i-1)\frac{T_{i-1}}{I_i}=\left\{\begin{aligned}&\left(\frac{2}{I_1}+\frac{5}{I_2}+\frac{8}{I_3}+\frac{11}{I_4}+\ldots\ldots\ldots\frac{3n-1}{I_n}\right)T_0-\\&\lambda\left[\frac{5}{I_2}p_1+\frac{8}{I_3}(p_1+p_2)+\frac{11}{I_4}(p_1+p_2+p_3)+\ldots\right.\\&\qquad\left.\frac{3n-1}{I_n}(p_1+p_2+\ldots\ldots p_{n-1}).\right]\end{aligned}\right.$$

$$(12)\quad \left\{\begin{array}{l} \frac{\lambda^2}{2}\sum_1^n (2i-1)\frac{M_{i-1}}{I_i} - \\ \frac{\lambda_3}{6}\sum_1^n (3i-1)\frac{T_{i-1}}{I_i} \end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{l} \frac{\lambda}{2}\left(\frac{1}{I_1}+\frac{3}{I_2}+\frac{5}{I_3}+\frac{7}{I_4}+\ldots\ldots\frac{2n-1}{I_n}\right) \\ \frac{\lambda}{3}\left[\frac{1}{I_1}+\frac{3.1.3+5}{I_2}+\frac{3.2.5+8}{I_3}+\frac{3.3.7+1}{I_4} \right. \\ \quad \left. +\frac{3(n-1)(2n-1)+3n-1}{I_n}\right]T_0 \\ \frac{\lambda^4}{4}\left[\frac{3}{I_2}p_1+\frac{5}{I_3}(3p_1+p_2)+\frac{7}{I_4}(5p_1+3p_2+p \right. \\ \quad \left. +\frac{2n-1}{I_n}[(2n-3)p_1+(2n-5)p_2+\ldots p \right. \\ \frac{\lambda^4}{6}\left[\frac{5}{I_1}p_1+\frac{8}{I_3}(p_1+p_2)+\frac{11}{I_4}(p_1+p_2+p \right. \\ \quad +\frac{(3n-1)}{I_n}(p_1+p_2+p_3+\ldots\ldots p_{n-1} \end{array}\right.$$

On a d'ailleurs :

$$(13)\quad \frac{\lambda^4}{24}\sum_1^n (4i-1)\frac{p_i}{I_i} = \frac{\lambda^4}{24}\left[\frac{3p_1}{I_1}+\frac{7p_2}{I_2}+\frac{11p_3}{I_3}+\frac{15p_4}{I_4}+\ldots\ldots+\frac{(4n-1}{I_n}\right.$$

Pour simplifier les écritures, représentons les séries qui précèdent par les lettres A, B, C, D, E, savoir :

$$(14)\quad \left\{\begin{array}{l} A = \left(\frac{1}{I_1}+\frac{3}{I_2}+\frac{5}{I_3}+\frac{7}{I_4}+\ldots\ldots\frac{2n-1}{I_n}\right), \\ B = \left[\frac{2}{I_1}+\frac{3.1.3+5}{I_2}+\frac{3.2.5+8}{I_3}+\ldots\ldots+\frac{3(n-1)(2n-1)+(3n}{I_n}\right. \\ C = \left[\frac{3}{I_2}p_1+\frac{5}{I_3}(3p_1+p_2)+\frac{7}{I_4}(5p_1+3p_2+p_3)+\ldots\frac{(2n-1)}{I_n}[(2n- \right. \\ \qquad \left.(2n-5)p_2+\ldots\ldots+p_{n-1}]\right], \\ D = \left[\frac{5}{I_2}p_1+\frac{8}{I_3}(p_1+p_2)+\frac{11}{I_4}(p_1+p_2+p_3)+\ldots\ldots\frac{3n-1}{I_n}(p_1+ \right. \\ \qquad \left. p_3+\ldots\ldots p_{n-1})\right], \\ E = \left[\frac{3p_1}{I_1}+\frac{7p_2}{I_2}+\frac{11p_3}{I_3}+\ldots\ldots(4n-1)\frac{p_n}{I_n}\right]. \end{array}\right.$$

L'équation (7) peut alors s'écrire comme il suit :

$$E[n\lambda\varphi_n - (y_n - y_0)] = \frac{\lambda^2}{2} AM_0 - \frac{\lambda^3}{6} BT_0 + \frac{\lambda^4}{4} C + \frac{\lambda^4}{6} D + \frac{\lambda^4}{24} E,$$

ou bien :

$$6E\varphi_n - \frac{6E(y_n - y_0)}{n\lambda} = \frac{3\lambda}{n}.AM_0 - \frac{\lambda^2}{n} BT_0 + \frac{\lambda^3}{4} \frac{6C + 4D + E}{n}.$$

Représentons encore par F la série qui termine l'équation (9) :

(16) $$F = [(2n-1)p_1 + (2n-3)p_2 + (2n-5)p_3 + \ldots\ldots + p_n],$$

nous aurons :

(17) $$M_n - M_0 = -n\lambda T_0 + \frac{1}{2}\lambda^2 F.$$

Par l'élimination de T_0 entre les équations (15) et (17), on a :

(18) $$\begin{cases} 6E\varphi_n - \dfrac{6E(y_n - y_0)}{n\lambda} = \dfrac{\lambda}{n^2} BM_n + \dfrac{\lambda}{n^2}(3nA - B)M_0 - \\ \qquad \dfrac{\lambda^3}{4n^2}[2BF - n(6C + 4D + E)]. \end{cases}$$

et en remplaçant $n\lambda$ par a :

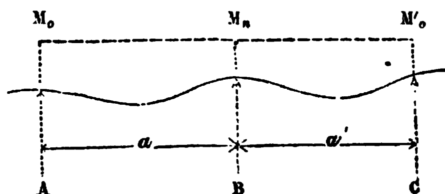
(19) $$\begin{cases} 6E\varphi_n - \dfrac{6E(y_n - y_0)}{a} = \dfrac{Ba}{n^3} M_n + \dfrac{(3nA - B)a}{n^3}.M_0 - \\ \qquad \dfrac{a^3}{4}\left[\dfrac{2BF - n(6C + 4D + E)}{n^5}\right]. \end{cases}$$

Enfin je désigne :

(19 *bis*) $\begin{cases} \text{la série } (3nA + B) \text{ par } G \\ \text{et la série } 2BF - n(6C + 4D + E) \text{ par } H \end{cases}$

et j'écris l'équation précédente comme il suit :

(20) $$6E\varphi_n - \frac{6E(y_n - y_0)}{a} = \frac{B}{n^3}.aM_n + \frac{G}{n^3}.aM_0 - \frac{H}{n^5}.\frac{a^3}{4}.$$



Cette équation s'applique à la première travée AB. Mais tout ce qui précède est applicable à la seconde travée, si on la considère à partir du point C et en allant vers B. En sorte qu'on peut poser, pour cette seconde travée, une équation identique, savoir :

$$(21)\quad 6E\varphi'_n - \frac{6E(y'_n - y'_0)}{a'} = \frac{B'}{n'^3}.a'M'_n + \frac{G'}{n'^3}a'M'_0 - \frac{H'}{n'^3}.\frac{a'^3}{4}.$$

Or, par suite de la continuité de la poutre, il faut que

$$\varphi'_n = -\varphi_n,\qquad M'_n = M_n \quad \text{et} \quad y'_n = y_n.$$

En conséquence, les équations (20) et (21) donnent :

$$(22)\quad \begin{cases} \dfrac{G}{n^3}aM_0 + \left(\dfrac{B}{n^3}a + \dfrac{B'}{n'^3}a'\right)M_n + \dfrac{G'}{n'^3}.a'M'_0 = \\ \dfrac{H}{n^3}\dfrac{a^3}{4} + \dfrac{H'}{n'^3}.\dfrac{a'^3}{4} + 6E\left(\dfrac{y_0 - y_n}{a} + \dfrac{y'_0 - y_n}{a'}\right). \end{cases}$$

Telle est la relation qui exprime, à l'aide des trois séries G, B et H, le théorème des trois moments dans le cas le plus général où non-seulement le moment d'inertie, mais encore les poids auxquels la poutre est soumise, sont variables.

Pour rendre cette équation mieux comparable à celle qui correspond à l'hypothèse de l'invariabilité du moment d'inertie, je désigne les moments de flexion sur trois appuis consécutifs, par M, M′ et M″ et les ordonnées de ces mêmes points d'appui par y, y' et y''. Elle s'écrira alors comme il suit :

$$(23)\quad \begin{cases} \dfrac{G}{n^3}.a.M + \left(\dfrac{B}{n^3}a. + \dfrac{B'}{n^3}a'\right)M' + \dfrac{G'}{n'^3}.a'.M'' = \\ \dfrac{H}{n^3}.\dfrac{a^3}{4} + \dfrac{H'}{n'^3}.\dfrac{a'^3}{4} + 6E\left(\dfrac{y - y'}{a} + \dfrac{y'' - y'}{a'}\right). \end{cases}$$

Il faut se rappeler que dans chaque travée les séries G B et H doivent se calculer en allant des points d'appui extrêmes vers le point d'appui commun.

On voit, par la composition de toutes les séries qui concourent à former finalement les trois qui entrent dans l'équation précédente, que toutes se composent d'un nombre n de termes, égal au nombre des éléments λ dans lesquels la longueur a de la travée est divisée, et que dans chaque série le terme correspondant au même élément est multiplié par le rapport inverse $\frac{1}{I}$ du moment d'inertie dans cet élément. Si l'on commence par calculer ces séries comme si le moment d'inertie était constant, ce qui se fait très-rapidement, il suffira ensuite de multiplier chaque terme par un nombre proportionnel à $\frac{1}{I}$. Il importe de remarquer qu'il n'est pas besoin de connaître les valeurs absolues des moments d'inertie, mais seulement leur valeur relative. En effet, si l'on prend pour terme de comparaison un moment d'inertie I_k quelconque, et qu'on fasse $I_1 = i_1 I_k$, $I_2 = i_2 I_k$, $I_3 = i_3 I_k$..... la quantité $\frac{1}{I_k}$ sera un facteur commun à tous les termes dans toutes les séries et disparaîtra dans l'équation (23).

De même pour les poids $p_1 p_2 p_3$... on en prendra un p_k pour terme de comparaison, de manière que $p_1 = \pi_1 p_k$, $p_2 = \pi_2 p_k$... On calculera d'abord la série F et puis la série H au moyen des nombres proportionnels π_1, π_2, π_3, et l'on multipliera le résultat trouvé par p_k.

On vérifie aisément que l'équation (23) se ramène à l'équation (1) lorsque le moment d'inertie est constant et les poids $p_1 p_2 p_3$... égaux.

Dans ce cas, les séries (14) deviennent :

$$A = \frac{1}{I}\sum_1^n (2i-1),$$

$$B = \frac{1}{I}\sum_1^n (6i^2-6i+2),$$

$$C = \frac{p}{I}\sum_1^n (2i^3-5i^2+4i-1),$$

$$D = \frac{p}{I}\sum_1^n (3i^2-4i+1),$$

$$E = \frac{p}{I}\sum_1^n (4i-1),$$

$$F = p\sum_1^n (2n-2i+1).$$

Les sommes sous le signe Σ se calculent au moyen des formules connues :

$$\sum_1^n i^3 = \frac{1}{4}n^4 + \frac{1}{2}n^3 + \frac{1}{4}n^2,$$

$$\sum_1^n i^2 = \frac{1}{3}n^3 + \frac{1}{2}n^2 + \frac{1}{6}n,$$

$$\sum_1^n i = \frac{1}{2}n^2 + \frac{1}{2}n,$$

$$\sum_1^n 1 = n.$$

On trouve ainsi :

$$A = \frac{n^2}{I}, \quad B = \frac{2n^3}{I}, \quad G = 3nA - B = \frac{n^3}{I},$$

$$C = \left(\frac{1}{2}n^4 - \frac{2}{3}n^3 + \frac{1}{6}n\right)\frac{p}{I}, \quad D = \left(n^3 - \frac{1}{2}n^2 - \frac{1}{2}n\right)\frac{p}{I},$$

$$E = (2n^2+n)\frac{p}{I}, \quad F = n^2 p,$$

$$H = 2BF - n(6C+4D+E) = n^4 . \frac{p}{I}.$$

Par la substitution de ces valeurs, l'équation (25) devient:

$$aM + 2(a+a')M' + a'M'' = \frac{a^3}{4}p + \frac{a'^3}{4}p' + 6EI\left(\frac{y-y'}{a} + \frac{y''-y'}{a'}\right).$$

J'ai montré, dans une note du 20 septembre 1875, que, pour le calcul des effets des surcharges mobiles auxquelles un pont peut être soumis, il est permis de remplacer ces surcharges par des poids équivalents uniformément répartis. Dans la pratique, on pourra donc toujours supposer que les poids $p_1 p_2 \ldots p_n$ sont égaux dans la même travée.

Voici maintenant comment on procédera pour l'application de l'équation (23) :

En prenant pour n un nombre assez grand pour obtenir des résultats suffisamment approchés, on calculera les différents termes des séries B, G et H, en snpposant les poids égaux et le moment d'inertie constant. On établira ainsi, une fois pour toutes, un premier tableau (A) qui restera invariable quels que soient les moments d'inertie et les portées des travées.

On calculera après cela, dans chaque cas particulier, les moments M, M', M'', M'''... sur tous les points d'appui dans la même hypothèse de la constance du moment d'inertie dans toute l'étendue de la poutre et de la répartition uniforme des poids sur chaque travée. Puis on déterminera, par la méthode usitée, les sections verticales de la poutre de manière à satisfaire aux limites assignées aux tensions et compressions maxima. On en déduira une première évaluation des moments d'inertie et de leurs rapports. En introduisant ces rapports dans les séries B, G et H du tableau (A), on obtiendra par l'application de l'équation (23) de nouvelles valeurs des moments de flexion sur les points d'appui, lesquelles différeront des premières. Mais ces différences seront assez faibles pour ne pas influer sensiblement sur les rapports à établir définitivement entre les moments d'inertie, en sorte qu'on pourra se dispenser de corriger les valeurs relatives des moments d'inertie. Il ne sera dès lors pas nécessaire de faire une seconde fois l'application de l'équation (23), et l'on admettra comme définitifs, pour servir de base à la déter-

mination des dimensions transversales de la poutre, les moments de flexion obtenus par la première application.

On verra tout à l'heure que ces calculs sont réellement peu compliqués. Cela tient à la facilité que procure le tableau général (A).

L'équation (2) de M. Bresse aurait le même avantage, à la condition de recevoir une transformation. La fonction $\varphi(x)$ représentant les moments de flexion dans l'hypothèse où la poutre serait discontinue au-dessus des points d'appui, on a :

$$\varphi(x) = -\frac{1}{2}p(a-x)x.$$

En substituant cette valeur de $\varphi(x)$ dans l'équation (2) et en remplaçant ensuite les intégrales par des sommes Σ_1^n avec différences finies $\Delta x = \frac{a}{n}$, on retrouverait l'équation (23).

Dans les poutres métalliques, les moments d'inertie se composent d'une quantité constante correspondant à l'âme et aux cornières, et d'une partie variable correspondant aux deux tables. Celle-ci peut être exprimée approximativement par le nombre de lames en tôle qui par leur superposition forment ces tables.

Soient, dans une section verticale donnée, K le nombre des tôles de la table supérieure, ω la section transversale d'une tôle, v la distance moyenne de ces tôles au centre de gravité de la section de la poutre, et K', ω', v', les quantités correspondantes de la table inférieure, le moment d'inertie est sensiblement égal à :

$$I = J + K\omega v^2 + K'\omega' v'^2,$$

J étant la partie de ce moment qui est indépendante du nombre des tôles.

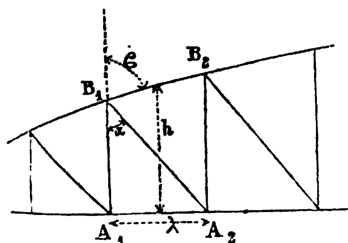
D'après la disposition usitée jusqu'à présent, les poutres

qui s'étendent à plusieurs travées ont une hauteur constante, et lorsque les tables sont reliées par un treillis croisé, elles doivent avoir la même épaisseur dans la même section verticale. Alors $K = K'$ et $v = v'$, et en faisant $v + v' = h$, on a ;

$$I = J + \frac{K\omega h^2}{4},$$

(24) $$\frac{1}{I} = \frac{4}{\omega h^2}\left(\frac{1}{K + \frac{4J}{\omega h^2}}\right) = \frac{4}{K\omega h^2}\left[1 - \frac{4J}{K\omega h^2} + \left(\frac{4J}{K\omega h^2}\right)^2 - \text{etc.}\right].$$

Comme J est généralement très-petit par rapport à $\frac{K\omega h^2}{4}$, on peut se contenter des premiers termes de la série entre parenthèses. Comme il ne s'agit d'ailleurs que de connaître les valeurs relatives de $\frac{1}{I}$ pour l'application de l'équation (23), on peut se contenter à cet effet de supposer en général $\frac{1}{I} = \frac{4}{K\omega h^2}$.

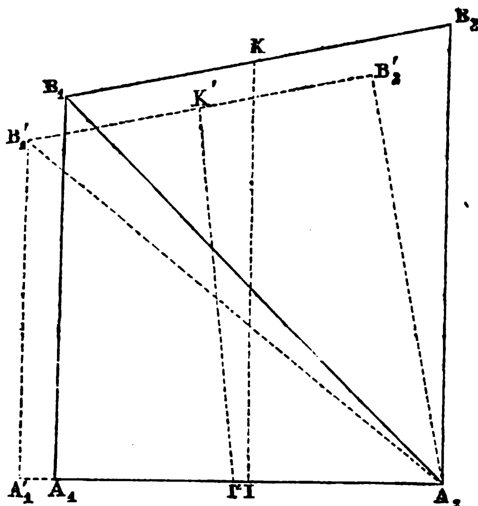


Lorsqu'une poutre est disposée avec un treillis non croisé, suivant le diagramme qui est représenté par la figure ci-contre, sa déformation dépend des allongements des pièces tendues et des raccourcissements des pièces comprimées. Sans examiner à fond cette question, qui demanderait d'assez longs développements, je me bornerai à faire remarquer que cette déformation peut être ramenée à la flexion de la semelle inférieure et qu'ainsi l'équation (23) sera encore applicable.

On établit aisément les formules qui donnent, dans un panneau quelconque $A_1B_1A_2B_2$ les tensions ou compressions

des pièces dont il se compose, en admettant que dans les sections transversales de chacune de ces pièces la résultante des forces élastiques est dirigée suivant son axe longitudinal. Les parties de tables A_1A_2 et B_1B_2 travaillent toujours en sens contraire; le tirant B_1A_2 est toujours tendu et les montants A_1B_1 et A_2B_2 sont toujours comprimés. Supposons que B_1B_2 soit comprimé, A_1A_2 tendu, ainsi que cela a lieu dans tous les panneaux d'une poutre posée sur deux appuis seulement. Si la section transversale Ω de chaque pièce est calculée de manière que celle-ci travaille à la limite θ (la poutre est alors un solide d'égale résistance), elles s'allongeront ou se raccourciront toutes dans la proportion $\frac{\theta}{E}$ de leur longueur. Ces variations de longueur étant extrêmement petites, les pièces du panneau conserveront sensiblement leurs directions relatives. La pièce A_1A_2 sera allongée de $\frac{\theta}{E}\lambda$. Celle B_1B_2, ayant une longueur $\frac{\lambda}{\sin \beta}$, sera raccourcie de $\frac{\theta\lambda}{E \sin \beta}$, et la projection horizontale de ce raccourcissement sera égale à $\frac{\theta}{E}.\lambda$. La pièce B_1A_2 ayant une longueur égale à $\frac{\lambda}{\sin \alpha}$ s'allongera de $\frac{\theta\lambda}{E \sin \alpha}$ dont la projection horizontale sera encore égale à $\frac{\theta}{E}\lambda$. Le montant A_1B_1 ayant une longueur $\frac{\lambda}{\tan \alpha}$ se raccourcira de $\frac{\theta\lambda}{E \tan \alpha}$, et enfin le montant A_2B_2 ayant une longueur $\lambda\left(\frac{1}{\tan \alpha}+\frac{1}{\tan \beta}\right)$ s'allongera de $\frac{\theta\lambda}{E}\left(\frac{1}{\tan \alpha}+\frac{1}{\tan \beta}\right)$. En faisant abstraction des mouvements giratoires des diverses pièces, on se rend compte que les sommets du quadrilatère $A_1B_1A_2B_2$ prendront les positions relatives à

$A'_1B'_1B'_2A'_2$ marquées par les lignes pointillées de la figure ci-contre. Les deux montants $A'_1B'_1$ et $A_2B'_2$ s'inclineront



l'un vers l'autre de manière à former un angle $B_2A_2B'_2$, la petite distance $A_1A'_1$ étant égale à $\frac{\theta\lambda}{E}$ et cette $B_2B'_2$ à $\frac{2\theta\lambda}{E}$. La ligne I'K' joignant les milieux de A'_1A_2 et $B'_1B'_2$ prendra par rapport à $A'_1B'_1$ une inclinaison qui sera mesurée par un rapprochement égal à $\frac{\theta\lambda}{E}$ pour la hauteur $I'K' = h$. En réalité, cette inclinaison résultera d'une flexion de la semelle A'_1A_2 dont la courbure sera déterminée par un rayon R, qui satisfera à la proportion :

$$R : \frac{\lambda}{2} :: h : \frac{\theta\lambda}{E} \quad \text{d'où} \quad R = \frac{2\theta}{Eh}.$$

En appelant x et y les coordonnées de la ligne des centres de gravité des sections transversales de la semelle A_1A_2 après sa flexion, on a :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{R} = \frac{2\theta}{Eh} \quad \text{et} \quad EI\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{2\theta I}{h}.$$

La hauteur h de la poutre au milieu du panneau $A_1A_2B_1B_2$ étant mesurée entre les lignes des centres de gravité des deux tables, désignons comme tout à l'heure par v et v' les deux parties dans lesquelles cette hauteur est divisée par l'axe du tirant B_1A_2 et par Ω, Ω' et Ω'' les surfaces des sections transversales de A_1A_2, B_1B_2 et B_1A_2. On peut exprimer le moment de flexion dans la section médiane par rapport au point I par la relation

$$M_i = \Omega'\theta \sin \alpha(v + v') - \Omega''\theta \sin 6v.$$

Or, comme dans une section verticale quelconque la somme des projections horizontales des forces élastiques est nulle, on a :

$$\Omega'\theta \sin 6 = \Omega\theta + \Omega''\theta \sin \alpha,$$

donc :

$$M_i = \Omega'\theta \sin 6v' + \Omega\theta v,$$

et par suite :

$$\frac{2\theta I}{h} = \Omega'\theta \sin 6v' + \Omega\theta v,$$

d'où l'on tire :

(25) $$I = (\Omega' \sin 6v' + \Omega v)\frac{h}{2}.$$

Lorsque la table supérieure est horizontale, v est égal à v' et à $\frac{h}{2}$ et l'on a :

(25 *bis*) $$I = (\Omega + \Omega')\frac{h^2}{4}.$$

Telle est la formule qu'on peut adopter pour l'évaluation des moments d'inertie dans l'application de l'équation (25) aux poutres continues dont les treillis à grandes mailles ne sont pas croisés en sens inverse.

En général, il convient de donner aux poutres continues une hauteur constante. Toutefois, pour des poutres reposant sur trois points d'appui et ayant de très-grandes por-

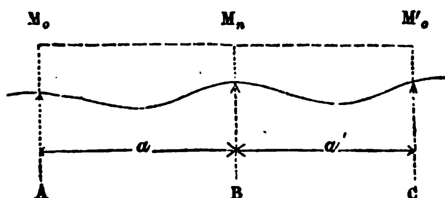
tées, il y aurait économie à augmenter la hauteur vers la pile centrale.

Lorsqu'une poutre s'étend à plusieurs travées, on détermine généralement les ouvertures de celles-ci de telle sorte que sous une charge uniformément répartie, comme les poids permanents sont toujours censés l'être, la poutre soit dans les mêmes conditions que si elle était encastrée au droit des piles. Pour cela, il faut que les tangentes de la courbe des centres de gravité des sections ne changent pas de direction en ces points par l'effet de la flexion de la poutre.

M. de Mondésir a donné aux poutres ainsi disposées la dénomination de poutres équilibrées.

Considérons une de ces poutres en supposant tous ses appuis de niveau. Toutes les travées, autres que celles de rive, ont la même portée. Cherchons le rapport qui doit exister entre la longueur a d'une travée de rive et celle a des travées intermédiaires.

Reprenons pour cela l'équation (20)



$$6E\varphi_n = \frac{B}{n^3}aM_n + \frac{G}{n^3}aM_0 - \frac{H}{n^3}\frac{a^3}{4}.$$

La poutre étant comme encastrée au point B et posée librement en A, on a : $\varphi_n = 0$ et $M_0 = 0$ et par suite :

$$BM_n = \frac{Ha^2}{4n^2}.$$

Dans la seconde travée BC la poutre est encastrée à la

fois en B et en C, et pour y appliquer l'équation (21), il faut faire $\varphi'_n = 0, M'_n = M'_o = M_n$, ce qui donne :

$$(B' + G')M_n = \frac{Ha'^2}{4n'^2}.$$

En conséquence, on doit avoir :

$$(26) \quad \frac{B}{B'+G'} = \frac{n'^2}{n^2} \cdot \frac{Ha^2}{H'a'^2} \quad \text{ou bien :} \quad \frac{a^2}{a'^2} = \frac{n^2 B . H'}{n'^2 (B'+G')H}.$$

Il est entendu que, dans cette équation, les poids $p_1 p_2 p_3$ sont censés égaux, et que la valeur de F qui entre dans la série H est égale à $n^2 p$.

Si le moment d'inertie était constant, on aurait, comme on l'a vu plus haut :

$$B = \frac{2n^2}{I},\ G = \frac{n^2}{I},\ B' = \frac{2n'^2}{I},\ G' = \frac{n'^2}{I},\ H = \frac{n^2 p}{I} \text{ et } H' = \frac{n'^2 p}{I},$$

et par conséquent :

$$\frac{a^2}{a'^2} = \frac{2}{3} \quad \text{et} \quad a = a'\sqrt{\frac{2}{3}} = 0,8165a'.$$

On sait en effet que pour une poutre encastrée à une seule de ses extrémités, et ayant un moment d'inertie constant, le moment de flexion au point d'encastrement est égal à $\frac{1}{8} pa^2$ et qu'il est égal à $\frac{1}{12} pa'^2$ pour une poutre encastrée à ses deux bouts. On retrouve donc ainsi le rapport :

$$\frac{a^2}{a'^2} = \frac{8}{12} = \frac{2}{3}.$$

APPLICATIONS.

Je vais maintenant rendre compte de quelques applications que j'ai faites des équations générales qui précèdent.

Je supposerai que tous les points d'appui sont de niveau et que dans toutes les travées le nombre des divisions de la poutre en éléments de longueur λ est le même, ce qui est permis puisque ce nombre est tout à fait arbitraire.

L'équation (23) se réduit alors à :

$$(27)\quad Ga\mathrm{M} + (\mathrm{B}a + \mathrm{B}'a')\mathrm{M}' + \mathrm{G}'a'\mathrm{M}'' = \frac{\mathrm{H}}{n^2}\frac{a^3}{4} + \frac{\mathrm{H}'}{n^2}\cdot\frac{a'^3}{4}.$$

Je considère une poutre dont les travées ont été déterminées de telle sorte que, dans l'hypothèse de la constance du moment d'inertie et sous une charge uniformément répartie, la poutre soit comme encastrée au-dessus des piles. Dans ce cas, le rapport entre la portée de chaque travée de rive et celle de toutes les travées intermédiaires est égal à $\sqrt{\frac{2}{3}} = 0,8165$. La poutre a d'ailleurs la même hauteur dans toute son étendue.

Je désigne la portée d'une travée intermédiaire par a, et celle des travées de rive par αa.

Dans cette hypothèse de l'invariabilité du moment d'inertie, les moments de flexion seront donnés : pour la première travée (travée de rive), par l'équation :

$$(28)\qquad \mathrm{M}_x = -\frac{3}{8}(\alpha a)px + \frac{1}{2}px^2,$$

et pour la seconde travée (travée intermédiaire), par l'équation :

$$(29)\qquad \mathrm{M}_x = \frac{1}{12}a^2p - \frac{1}{2}apx + \frac{1}{2}px^2.$$

J'ai divisé chaque travée en 20 éléments λ, et après avoir déterminé les moments de flexion aux divers points de séparation de ces éléments, d'après les deux équations qui précèdent, j'en ai déduit une répartition du nombre variable de tôles de même épaisseur qui doivent constituer les tables de la poutre. Ce ne sont pas des nombres absolus, mais des nombres proportionnels aux épaisseurs des

tables. J'ai fait varier ces nombres du simple au quintuple, selon l'intensité du moment de flexion, en adoptant le minimum de 2 pour les sections où le moment de flexion étant nul ou très-faible, l'épaisseur des tables doit être calculée d'après l'effort tranchant, et le maximum 10 pour les sections au-dessus des piles.

Les résultats de ces calculs préliminaires sont indiqués au tableau suivant. Les abscisses x des points de division de la poutre, à partir de l'origine de chaque travée, sont exprimées en vingtièmes de αa pour la première travée et en vingtièmes de a pour la seconde travée. Les colonnes des moments de flexion M_x donnent les nombres par lesquels il faut multiplier $\frac{\alpha^2 a^2}{400}$ ou $\frac{a^2}{600}$ pour avoir ces moments dans la première travée, et par $\frac{a^2}{600}$ pour avoir ceux qui concernent la seconde travée. Enfin les nombres proportionnels aux épaisseurs des tables sont donnés dans les colonnes K.

TRAVÉE DE RIVE.			TRAVÉE INTERMÉDIAIRE.		
x	M_x	K_x	x	M_x	K_x
0	0	3	0	+ 50	10
1	— 7	3	1	+ 36	8
2	— 13	3	2	+ 23	5
3	— 18	4	3	+ 12	3
4	— 22	5	4	+ 2	2
5	— 25	5	5	— 6	2
6	— 27	6	6	— 13	3
7	— 28	6	7	— 18	4
8	— 28	6	8	— 22	4
9	— 27	6	9	— 24	5
10	— 25	5	10	— 25	5
11	— 22	4	11	— 24	5
12	— 18	4	12	— 22	4
13	— 13	3	13	— 18	4
14	— 7	2	14	— 13	3
15	0	2	15	— 6	2
16	+ 8	2	16	+ 2	2
17	+ 17	4	17	+ 12	3
18	+ 27	6	18	+ 23	5
19	+ 38	8	19	+ 36	8
20	+ 50	10	20	+ 50	10

Pour appliquer l'équation (23), j'ai d'abord formé le tableau général A en calculant les différents termes des séries qui composent les coefficients de cette équation, en supposant que le moment d'inertie est constant et $\frac{1}{I}$ égal à l'unité. Tous les poids étant égaux, la quantité F est égale à $n^2 p = 400\ p$.

TABLEAU A.

A	B	C	D	E	2BF	6C+4D+E	G=3nA—B	H=2BF—(6C+4D+E)
1	2	0	0	3 p.	1.600 p.	3 p.	58	1.540 p.
3	14	3 p.	5 p.	7 p.	11.200 p.	45 p.	166	10.300 p.
5	38	20 p.	16 p.	11 p.	30.400 p.	195 p.	262	26.500 p.
7	74	63 p.	33 p	15 p.	59.200 p.	525 p.	346	48.700 p.
9	122	144 p.	56 p.	19 p.	97.600 p.	1.107 p.	418	75 460 p.
11	182	275 p.	85 p.	23 p.	145.600 p.	2.013 p.	478	105.340 p.
13	254	468 p.	120 p.	27 p.	203.200 p.	3.315 p.	526	136.900 p.
15	338	735 p.	161 p.	31 p.	270 400 p.	5.085 p.	562	168.700 p.
17	434	1 088 p.	208 p.	35 p.	347.200 p.	7.395 p.	586	199.300 p.
19	542	1 529 p.	261 p.	39 p	433.600 p.	10.317 p.	598	227.260 p.
21	662	2.100 p.	320 p.	43 p.	529.600 p.	13.923 p.	598	251.140 p.
23	794	2.783 p.	385 p.	47 p.	635.200 p.	18 285 p.	586	269.500 p.
25	938	3 600 p.	456 p.	51 p.	750.400 p.	23.475 p.	562	280.900 p.
27	1.094	4.563 p.	533 p.	55 p.	875.200 p.	29.565 p.	526	283.900 p.
29	1.262	5 684 p.	616 p.	59 p.	1.009.600 p.	36.627 p.	478	277.060 p.
31	1.442	6.975 p.	705 p.	63 p.	1.153.600 p	44.733 p.	418	258.940 p.
33	1.634	8.448 p.	800 p.	67 p.	1.307 200 p.	53.955 p.	346	228.100 p.
35	1 838	10.115 p.	901 p	71 p.	1.470.400 p.	64.365 p.	262	183 100 p.
37	2.054	11.988 p.	1.008 p.	75 p.	1.643.200 p.	76.035 p.	166	122.500 p.
39	2 282	14.079 p.	1.121 p.	79 p.	1.825.600 p.	89.037 p.	58	44.860 p.
400	16.000	72.670 p.	7.790 p.	820 p.	12.800.000 p.	480.000 p.	8.000	3.200.000 p.

Au moyen des nombres du tableau précédent, il est très-facile de déterminer les valeurs de B, G et H en ayant égard à la variation du moment d'inertie. On n'a qu'à multiplier chaque terme par un nombre proportionnel à la valeur correspondante de $\frac{1}{I}$ Comme approximation suffisante, on peut admettre que les moments d'inertie sont proportionnels aux nombres de tôles que compfennent les tables de la poutre. En prenant pour terme de comparaison

le moment d'inertie pour deux tôles, les valeurs à assigner, comme nombres proportionnels, à $\frac{1}{I}$ dans les différentes séries seront :

Pour	3 tôles.	$\frac{2}{3}$
	4 tôles.	$\frac{2}{4}=\frac{1}{2}$
	5 tôles.	$\frac{2}{5}$
	6 tôles.	$\frac{2}{6}=\frac{1}{3}$
	7 tôles.	$\frac{2}{7}$
	8 tôles.	$\frac{2}{8}=\frac{1}{4}$
	9 tôles.	$\frac{2}{9}$
	10 tôles.	$\frac{2}{10}=\frac{1}{5}$

Il est possible que ces nombres s'écartent sensiblement d'une proportionnalité exacte avec la vraie valeur de $\frac{1}{I}$, et que les valeurs minima attribuées à I soient plus ou moins erronées, puisque les valeurs qui s'appliquent aux points où les moments de flexion sont nuls ou très-faibles doivent être déterminées indépendamment de ces moments. Néanmoins une appréciation plus étudiée des valeurs de $\frac{1}{I}$ ne changerait pas notablement les résultats finals.

TABLEAU B.

Numéros des éléments de la travée.	TRAVÉE DE RIVE. Nombres proportionnels à $\frac{1}{I}$.	Valeurs en nombres entiers des termes successifs des séries. B	G	H	TRAVÉE INTERMÉDIAIRE. Nombres proportionnels à $\frac{1}{I}$.	Valeurs en nombres entiers des termes successifs des séries. B	G	H
1	2/3	2	37	1.027 p.	1/5	1	12	308 p.
2	2/3	9	111	6.867 p.	1/4	3	42	2.575 p.
3	1/2	19	131	13.250 p.	2/5	15	105	10 600 p.
4	1/2	37	173	24 350 p.	2/3	49	231	32.467 p.
5	2/5	49	167	30 184 p.	1	122	418	75.460 p.
6	1/3	61	159	35.113 p.	1	182	478	105 340 p.
7	1/3	84	175	45 633 p.	2/3	169	351	91 267 p.
8	1/3	113	187	56.233 p.	1/2	169	281	84 350 p.
9	1/3	244	195	66.433 p.	1/2	217	293	99.650 p.
10	2/5	217	239	90 904 p.	2/5	217	239	90.904 p
11	1/2	331	299	125.570 p.	2/5	265	239	100.456 p.
12	1/2	397	293	136.750 p.	1/2	397	293	134 750 p.
13	2/3	625	375	189.267 p.	1/2	469	281	140.450 p.
14	1	1.094	526	283.900 p.	2/3	730	351	189.267 p.
15	1	1.262	478	277.060 p.	1	1.262	478	277.060 p.
16	1	1.442	418	258 940 p.	1	1.442	418	258.940 p.
17	1/2	817	173	114.050 p.	2/3	1.090	231	92.067 p.
18	1/3	613	121	61.033 p.	2/5	1.898	105	73.240 p.
19	1/4	514	42	30.625 p.	1/4	2.054	42	30 625 p.
20	1/5	436	12	8.972 p.	1/5	2.282	12	8.972 p.
Totaux.		8.281	4.311	1.854.561 p.	»	8.504	4.900	1.898.748 p.

Comme je l'ai dit, ce tableau n'est qu'approximatif, mais il suffit à l'objet de la présente note.

En ce qui concerne spécialement le système des poutres équilibrées, on peut, après quelques applications pareilles à celles dont je vais rendre compte, déterminer exactement les rapports entre les moments d'inertie et établir une fois pour toutes le tableau B, sauf à indiquer les corrections à faire pour les éléments de la poutre où les sections verticales dépendent des efforts tranchants, corrections variables avec la portée des travées. De cette manière on arrêterait immédiatement les coefficients des équations (30) et (31) posées plus loin, sans qu'il soit nécessaire de calculer préalablement les moments de flexion dans l'hypothèse de la constance du moment d'inertie.

Par la substitution des valeurs de B, G et H que don-

nent les totaux du tableau précédent, l'équation (27) (n^2 étant égal à 400) devient :

1° Pour une travée de rive et la travée contiguë,

$$4311 . aM + (8286a + 8504a')M' + 4900a'M'' = 4638 . \frac{a^3}{4} p + 4747 \frac{a'^3}{4} p;$$

2° Pour deux travées intermédiaires contiguës,

$$4900 . aM + 8504(a + a')M' + 4900a'M'' = 4747 \left(\frac{a^3}{4} + \frac{a'^3}{4}\right) p.$$

En divisant ces deux équations par 4900, en remplaçant dans la première a par $\alpha a'$, et en faisant attention que dans la seconde $a = a'$, puisque toutes les travées intermédiaires ont la même ouverture, on a en définitive (en ôtant l'accent devenu inutile sur a') :

1° Pour une travée de rive et la travée contiguë,

$$(30) \quad \left\{ \begin{array}{l} 0{,}880 . \alpha M + (1{,}691 . \alpha + 1{,}735)M' + M'' = \\ (0{,}947 . \alpha^3 + 0{,}969) \frac{a^2}{4} . p; \end{array} \right.$$

2° Pour deux travées intermédiaires contiguës,

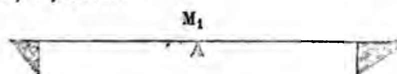
$$(31) \qquad M + 3{,}471 M' + M'' = 1{,}938 . \frac{a^2}{4} . p.$$

Ces équations permettent de déterminer facilement les moments de flexion sur les appuis, quel que soit le nombre des travées, et par suite les moments de flexion pour toutes les sections verticales de la poutre.

Dans l'équation (30), le premier terme est nul puisque M représente le moment de flexion au droit de la culée où la poutre est censée reposer librement.

Je prendrai successivement pour exemples des ponts composés de deux, de trois et de cinq travées.

Pour distinguer les moments de flexion correspondant aux diverses piles, je les marquerai, au lieu d'accents, par les indices 1, 2, 3.....



Pont composé de deux travées égales. — Dans ce cas, il y a deux travées de rive sans travée intermédiaire, et l'équation 30 montre que le théorème des trois moments donne :

$$(1,691 \times 2)M_1 = 0,947 \times 2 \frac{a^2}{4} . p,$$

ou bien

$$3,382 . M_1 = 1,894 . \frac{a^2}{4} . p,$$

d'où

$$M_1 = 0,05305 . \frac{a^2}{4} . p.$$

Dans l'hypothèse où le moment d'inertie est constant, on a :

$$M'_1 = \frac{1}{8} a^2 p = 0,50 \frac{a^2}{4} . p.$$

L'écart entre ces deux valeurs est représenté par le rapport :

$$\frac{M_1}{M'_1} = \frac{0,5305}{0,50} = 1.061.$$

L'effort tranchant contre les culées est donné par la relation :

$$T_0 = \frac{1}{2} ap - \frac{M_1}{a} = 0,3674 . a . p.$$

Lorsque le moment d'inertie est constant, on a :

$$T'_0 = \frac{3}{8} a . p = 0,375 . a . p.$$

L'équation qui donne les moments de flexion à une distance x de l'origine de la culée, dans chaque travée, est :

$$M_x = -T_0 x + \frac{1}{2} p x^2 = -\left(0,3674 a . x - \frac{1}{2} x^2\right) . p.$$

Dans l'hypothèse de I constant, on a :

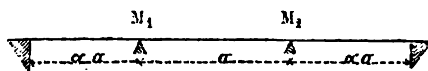
$$M'_x = -\left(0,375 a . x - \frac{1}{2} x^2\right) p.$$

L'abscisse du point d'inflexion de la fibre neutre est égale à $0,735 a$, tandis que pour I constant, elle est égale à $0,75 a$.

L'effet de la variation du moment d'inertie est de diminuer la réaction des culées, de rapprocher de ces culées les points d'inflexion de la fibre neutre et d'augmenter les moments de flexion sur la pile. Tout cela était évidemment prévu à l'avance, puisque la roideur relative de la poutre est augmentée au-dessus de la pile.

Les principaux moments de flexion, suivant que le moment d'inertie est variable ou constant, sont indiqués ci-après :

x	M_x	M'_x	$\frac{M_x}{M'_x}$
$0,3674\ a$	$-\ 0,0675\ a^2p$ (maximum)	$-\ 0,0694\ a^2p$	0,97
$0,375\ a$	$-\ 0,0674\ a^2p$	$-\ 0,0703\ a^2p$ (maximum)	0,96
$0,7345\ a$	0	$-\ 0,0055\ a^2p$	»
$0,75\ a$	$+\ 0,0056\ a^2p$	0	»
a	$+\ 0,1326\ a^2p$	$+\ 0,1250\ a^2p$	1,06



Pont composé de trois travées. — En appliquant l'équation (30) aux deux premières travées (le premier terme étant nul), on a :

$$(1,691 . \alpha + 1,735) M_1 + M_2 = (0,947 . \alpha^3 + 0,969) \frac{a^2}{4}.$$

A cause de la constitution symétrique de la poutre de part et d'autre de l'axe de la travée centrale, M_2 est égal à M_1. En remplaçant d'ailleurs α par 0,8165 et α^2 par 0,5443, l'équation ci-dessus devient :

$$(1,381 + 1,735 + 1)M_1 = (0,515 + 0,969)\frac{a^2}{4},$$

ou bien

$$4,116M_1 = 1,484.\frac{a^2}{4}.p,$$

d'où

$$M_1 = 0,3605.\frac{a^2}{4}.p.$$

En fonction de la portée αa de la première travée, la valeur de M_1 est :

$$M_1 = 0,5408.\frac{(\alpha a)^2}{4}.p.$$

Si le moment d'inertie était invariable, on aurait :

$$M'_1 = \frac{1}{3}\frac{a^2}{4}.p, \quad \text{ou bien} \quad M'_1 = \frac{1}{2}\frac{(\alpha a)^2}{4}.p.$$

L'écart entre M_1 et M'_1 est :

$$\frac{M_1}{M'_1} = 1.0816.$$

L'effort tranchant contre la culée est 0,3648 $(\alpha a).p$ au lieu de 0,375 $(\alpha a)\,p$ avec I constant.

Le point d'inflexion dans chacune des travées de rive est à la distance 0,7796 (αa) de la culée, au lieu de 0,75 (αa) avec I constant.

Dans la travée centrale, les points d'inflexion sont situés à 0,236.a des piles, au lieu de 0,2113a avec I constant.

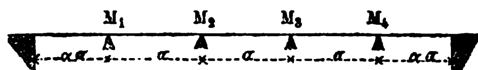
Les équations qui donnent les moments de flexion dans les diverses sections verticales de la poutre sont :

Pour les travées de rive
$$\begin{cases} \text{avec I variable, } M_x = -\left[0,3648(\alpha a)x - \frac{1}{2}x^2\right]p, \\ \text{avec I constant, } M'_x = -\left[0,375(\alpha a)x - \frac{1}{2}x^2\right]p. \end{cases}$$

Pour la travée centrale
$$\begin{cases} \text{avec I variable, } M_x = \left(0,3605\frac{a^2}{4} - \frac{1}{2}ax + \frac{1}{2}x^2\right)p, \\ \text{avec I constant, } M'_x = \left(\frac{1}{3}\cdot\frac{a^2}{4} - \frac{1}{2}ax + \frac{1}{2}x^2\right)p. \end{cases}$$

Les valeurs relatives des principaux moments de flexion sont indiquées au tableau suivant :

	x	M_x	M'_x	$\frac{M_x}{M'_x}$
Travée de rive. . .	0,3648 αa	$-$ 0,0676 $(\alpha a)^2 p$ (maximum)	$-$ 0,07026 $(\alpha a)^2 p$	0,962
	0,375 αa	$-$ 0,06656 $(\alpha a)^2 p$	$-$ 0,0703 $(\alpha a)^2 p$ (maximum)	0,947
	0,7296 αa	0	$-$ 0,0073 $(\alpha a)^2 p$	»
	0,75 αa	+ 0,0075 $(\alpha a)^2 p$	0	»
	αa	+ 0,1352 $(\alpha a)^2 p$	+ 0,125 $(\alpha a)^2 p$	1,082
Travée centrale. . .	0	+ 0,0901 $a^2 p$	+ 0,0833 $a^2 p$	1,082
	0,2113 a	+ 0,0068 $a^2 p$	0	»
	0,236 a	0	$-$ 0,0068 $a^2 p$	»
	0,50 a	$-$ 0,0349 $a^2 p$ (maximum)	$-$ 0,0417 $a^2 p$ (maximum)	0,837
	0,764 a	0	$-$ 0,0068 $a^2 p$	»
	0,789 a	+ 0,0068 $a^2 p$	0	»
	a	+ 0,0901 $a^2 p$	+ 0,0833 $a^2 p$	1,082



Pont composé de cinq travées. — En appliquant l'équation (30) aux deux premières travées et l'équation (31) à la seconde et à la troisième, on a :

$$(1,691 . \alpha + 1,735)M_1 + M_2 = (0,947 . \alpha^3 + 0,969)\frac{a^2}{4} . p,$$

$$M_1 + 3,470M_2 + M_3 = 1,938 . \frac{a^2}{4} . p.$$

En remplaçant α par 0,8165, et en faisant $M_3 = M_2$, à cause des dispositions symétriques de la poutre, il vient :

$$3,116M_1 + M_2 = 1,484 \cdot \frac{a^2}{4} p,$$

$$M_1 + 4,470M_2 = 1,938 \frac{a^2}{4} \cdot p,$$

d'où l'on tire :

$$M_1 = 0,3632 \frac{a^2}{4} p = 0,5448 \frac{(\alpha a)^2}{4} \cdot p,$$

$$M_2 = 0,3523 \frac{a^2}{4} \cdot p.$$

A l'origine de la travée de rive, l'effort tranchant est :

$$T_0 = \frac{1}{2}(\alpha a)p - \frac{M_1}{(\alpha a)} = 0,3638\,(\alpha a)p.$$

A l'origine de la deuxième travée, l'effort tranchant est :

$$T_0 = \frac{1}{2}ap - \frac{M_1 - M_2}{a} = 0,5027ap.$$

Enfin à chacune des extrémités de la travée centrale, l'effort tranchant est égal à $\frac{1}{2}ap$.

Les équations qui donnent les moments de flexion dans les diverses sections de la poutre sont :

Pour les travées de rive
- avec I variable, $M_x = -\left[0,3638(\alpha a)x - \frac{1}{2}x^2\right]p,$
- avec I constant, $M'_x = -\left[0,375 \cdot (\alpha a)x - \frac{1}{2}x^2\right]p.$

Pour la 2e et la 4e travée
- avec I variable, $M_x = \left(0,3632\frac{a^2}{4} - 0,5027ax + \frac{1}{2}x^2\right)p$
- avec I constant, $M'_x = \left(\frac{1}{3}\frac{a^2}{4} - \frac{1}{2}ax + \frac{1}{2}x^2\right)p.$

Pour la 3e travée
- avec I variable, $M_x = \left(0,3523\frac{a^2}{4} - \frac{1}{2}ax + \frac{1}{2}x^2\right)p,$
- avec I constant, $M'_x = \left(\frac{1}{3}\frac{a^2}{4} - \frac{1}{2}ax + \frac{1}{2}x^2\right)p.$

Le tableau suivant donne les valeurs de M_x et de M'_x pour les principales sections de la poutre :

	x	M_x	M'_x	$\frac{M_x}{M'_x}$
Travée de rive	0,3638 (αa)	$-0,06625\ (\alpha a)^2p$ (maximum)	$-0,07025\ (\alpha a)^2p$	0,943
	0,375 (αa)	$-0,06617\ (\alpha a)^2p$	$-0,07030\ (\alpha a)^2p$ (maximum)	0,941
	0,7276 (αa)	0	$+0,00801\ (\alpha a)^2p$	»
	0,75 (αa)	$+0,00825\ (\alpha a)^2p$	0	»
	(αa)	$+0,1362\ (\alpha a)^2p$	$-0,1250\ (\alpha a)^2p$	1,090
Deuxième travée	0	$+0,0908\ a^2p$	$+0,0833\ a^2p$	1,090
	0,2113 a	$+0,0069\ a^2p$	0	»
	0,2360 a	0	$-0,00682\ a^2p$	»
	0,50 a	$-0,0355\ a^2p$	$-0,04170\ a^2p$ (maximum)	0.853
	0,5027 a	$-0,0356\ a^2p$ (maximum)	$-0,04167\ a^2p$	0,853
	0,770 a	0	$-0,00525\ a^2p$	»
	0,7887 a	$+0,0053\ a^2p$	0	»
	a	$+0,881\ a^2p$	$-0,0833\ a^2p$	1,057
Troisième travée	0	$+0,0881\ a^2p$	$+0,0833\ a^2p$	1,057
	0,2113 a	$+0,00477\ a^2p$	0	»
	0,228 a	0	$-0,00467\ a^2p$	»
	0,50 a	$-0,03693\ a^2p$ (maximum)	$-0,04167\ a^2p$ (maximum)	0,886
	0,772 a	0	$-0,00467\ a^2p$	»
	0,7887 a	$+0,00466\ a^2p$	0	»
	a	$+0,0881\ a^2p$	$+0,0833\ a^2p$	1,057

J'ai supposé, dans les applications qui précèdent, que les ouvertures des travées de rive et des travées intermédiaires étaient réglées de manière à constituer une poutre équilibrée dans l'hypothèse de l'invariabilité du moment d'inertie. J'ai ainsi admis, pour le rapport entre ces ouvertures, $a = \sqrt{\frac{2}{3}} \doteq 0,8165$.

Pour connaître la valeur de ce rapport, lorsque le moment d'inertie est variable suivant les nombres proportionnels que j'ai admis, à titre d'approximation, dans mes calculs, il faut appliquer l'équation (26) en donnant à B, H, B', G' et H' les valeurs indiquées au tableau (B). Comme j'ai fait $n' = n$, cette équation donne :

$$\frac{a'^2}{a^2} = \alpha^2 = \frac{\mathrm{BH}}{(\mathrm{B}' + \mathrm{G}')\mathrm{H}} = \frac{8.281 \times 1.898.748}{13.404 \times 1.854.561} = 0,6325,$$

$$\alpha = 0.7953.$$

Ce rapport diffère seulement de 0,0037 du rapport 0,80 qui est généralement adopté par les constructeurs, et par conséquent il convient de maintenir ce dernier de préférence au rapport 0,8165 qu'on obtient en supposant le moment d'inertie constant. Le rapport exact devra d'ailleurs être établi d'après des valeurs relatives des moments d'inertie plus rigoureusement déterminées que celles que j'ai adoptées par approximation.

La correction du rapport α ne changerait que d'une manière insignifiante les valeurs comparatives des moments de flexion calculés pour $\alpha = 0,8165$. J'ai en effet fait le calcul de ces moments pour $\alpha = 0,80$, et j'ai obtenu les résultats indiqués au tableau suivant :

	x	M_x	M'_x	$\frac{M_x}{M'_x}$
Pont à trois travées.				
Travée de rive. . .	0,3611 (αa)	— 0,0673 $(\alpha a)^2 p$ (maximum)	— 0,0690 $(\alpha a)^2 p$	0,976
	0,3715 (αa)	— 0,0652 $(\alpha a)^2 p$	— 0,0693 $(\alpha a)^2 p$ (maximum)	0,941
	(αa)	+ 0,1389 $(\alpha a)^2 p$	+ 0,1285 $(\alpha a)^2 p$	1,081
Travée centrale. . .	0	+ 0,0889 $a^2 p$	+ 0,0822 $a^2 p$	1,081
	0,50	— 0,0361 $a^2 p$ (maximum)	— 0,0428 $a^2 p$ (maximum)	0,843
	a	+ 0,0889 $a^2 p$	+ 0,0822 $a^2 p$	1,081
Pont à cinq travées.				
Travée de rive. . .	0,3608 (αa)	— 0,0651 $(\alpha a)^2 p$ (maximum)	— 0,0692 $(\alpha a)^2 p$	0,941
	0,3722 (αa)	— 0,0650 $(\alpha a)^2 p$	— 0,0693 $(\alpha a)^2 p$ (maximum)	0,938
	(αa)	+ 0,1392 $(\alpha a)^2 p$	+ 0,1278 $(\alpha a)^2 p$	1,089
Deuxième travée. .	0	+ 0,0891 $a^2 p$	+ 0,0818 $a^2 p$	1,089
	0,4981 a	— 0,0362 $a^2 p$	— 0,0423 $a^2 p$ (maximum)	0,858
	0,5007 a	— 0,0363 $a^2 p$ (maximum)	— 0,0422 $a^2 p$	0,858
	a	0,0884 $a^2 p$	+ 0,0836 $a^2 p$	1,057
Travée centrale. . .	0	+ 0,0884 $a^2 p$	+ 0,0836 $a^2 p$	1,057
	0,50 a	— 0,0366 $a^2 p$	— 0,0414 $a^2 p$	0,884
	a	+ 0,0884 $a^2 p$	+ 0,0836 $a^2 p$	1,057

CONCLUSION.

Des recherches dont je viens de rendre compte, je crois pouvoir conclure :

1° Que, dans les calculs de stabilité des poutres continues, l'hypothèse de l'invariabilité du moment d'inertie conduit à des erreurs sensibles dans l'évaluation des moments de flexion, en donnant aux moments positifs des

valeurs trop faibles et aux moments négatifs des valeurs trop fortes :

Qu'en ce qui concerne les poutres dites *équilibrées*, l'erreur peut atteindre environ 9 p. 100, pour les plus forts moments positifs et environ 14 p. 100 pour les plus forts moments négatifs, dans les travées attenantes aux travées de rive (elle est moindre dans les autres travées intermédiaires) ;

2° Qu'il est très-facile, à l'aide du tableau général A, de calculer plus exactement les moments de flexion, dans toute espèce de poutre continue, en ayant égard à la variation du moment d'inertie, et par suite de faire une meilleure répartition du métal dans les différentes sections verticales de la poutre.

Paris, 23 octobre 1875.

N° 10

NOTES RECUEILLIES

DANS UNE MISSION EN ANGLETERRE (1874)

Par MM. Pouler et Luneau, élèves-ingénieurs des ponts et chaussées.

ANALYSE ET EXTRAITS

Par M. GARIEL, ingénieur des ponts et chaussées.

Suite (*).

VI. — Chemins de fer. — Appareils de manœuvre des aiguilles et des signaux à la station de Cannon Street (Londres).

Les appareils destinés à protéger la marche des trains sur les voies de chemin de fer doivent être étudiés à deux points de vue différents suivant qu'ils se rattachent ou non à la manœuvre des aiguilles. Les disques, sémaphores et tous autres engins destinés à empêcher la collision de deux trains à un embranchement sont particulièrement intéressants dans les gares importantes où les voies se réunissent et se séparent de manières très-diverses et présentent une complication extrême : c'est cependant dans ces gares que les mouvements sont les plus fréquents et les plus nombreux et qu'il semble le moins facile d'éviter les rencontres de machines ou de trains. Les difficultés qui se présentent dans ces circonstances ont été résolues en Angleterre par la combinaison de deux idées distinctes : 1° un système d'enclanchement spécial des leviers de ma-

(*) Voir le cahier de janvier, p. 32.

nœuvre des disques et des aiguilles ; 2° la concentration en un poste unique de tous les leviers qui actionnent les disques ou les aiguilles d'une gare tout entière.

Les gares de Charing-Cross et de Cannon Street, à Londres (*), présentent des exemples remarquables de ces dispositions. Elles sont l'une et l'autre placées à la tête de ponts traversant la Tamise qui les réunissent au réseau général, et les voies nombreuses (7 pour la première, 9 pour la seconde) qu'elles contiennent doivent être réduites presque immédiatement sur le pont à un nombre environ moitié moindre (4 pour Charing-Cross et 5 pour Cannon Street). Les départs sont fréquents dans ces deux gares et les systèmes employés paraissent répondre aux besoins d'une exploitation très-développée.

Nous n'avons pas l'intention de traiter la question complétement; mais, même pour faire comprendre les appareils spécialement employés en Angleterre, il est nécessaire de préciser en quelques mots les conditions auxquelles il convient de satisfaire.

Considérons le cas simple d'un embranchement se détachant d'une ligne principale : soient I et II les voies de la ligne principale ; III et IV celles de l'embranchement. Pour la sécurité des trains, il faut que (Pl. 4, *fig.* 10) :

a Un train arrivant sur I soit assuré par un signal de ne pas rencontrer un train arrivant par III qui devra être arrêté à distance ;

b Un train se mouvant sur II pour continuer sur la ligne principale II soit assuré : 1° de ne pas être coupé par un train arrivant sur III, qui devra être arrêté à distance par ce signal, et 2° que l'aiguille β est faite ;

c Un train arrivant sur III soit averti que la voie est libre, c'est-à-dire que les trains se mouvant sur I ou sur II sont arrêtés à distance par des signaux convenables ;

(*) Voir *Annales*, tome VII, 1875, 1er sem., Pl. 2.

d Un train se mouvant sur II, pour continuer sur l'embranchement 4 soit averti que l'aiguille β est faite.

Non-seulement les indications sont complexes, mais n le voit, elles sont diverses suivant les cas. Pour éviter les erreurs, fausses manœuvres des employés chargés de la manœuvre des aiguilles et des disques couvrant les aiguilles à distance, on a cherché des combinaisons mécaniques qui assurassent que l'indication fournie à distance par un disque ne pût pas être donnée sans que, auparavant, toutes les manœuvres destinées à assurer la sécurité du mouvement fussent effectuées.

Des combinaisons diverses ont été proposées dans ce but parmi lesquelles nous signalerons seulement le système Viguier qui a été décrit dans divers ouvrages spéciaux et qui fonctionne depuis longtemps sur plusieurs lignes françaises; dans ce système chaque levier de manœuvre est susceptible d'être enclanché par le mouvement d'autres leviers ou d'enclancher d'autres leviers. Ces enclanchements sont combinés de telles sorte que le déplacement d'un levier n'est possible qu'autant que l'on a préalablement manœuvré tous les leviers dont le mouvement a pour effet d'assurer le passage libre du train au point considéré.

Les systèmes employés en Angleterre ont un effet général analogue, le mode d'enclanchement diffère seul. Nous décrirons les types principaux qui ont été vus par M. Poulet et Luneau dans les gares de Londres.

Premier système Saxby et Farmer. — Dans ce système comme dans tous les autres, un levier quelconque peut être enclanché et enclancheur : ce double effet se produit par l'intermédiaire de pièces mobiles reliées entre elles de la manière suivante (*fig.* 1 et 2) :

Soit L un levier mobile autour du point *o* et soit *l* la branche à laquelle est fixée la tige ou la chaîne qui commande la manœuvre : à quelque hauteur au-dessus de *o*

evier est articulé à une bielle à fourche *d* dont l'autre rémité commande une manivelle *m* qui fait tourner un bre à axe vertical fixe *g*. A une hauteur variable suivant cas, cet arbre porte une nouvelle manivelle *b* formant ec *m* un levier coudé; cette manivelle entraîne, d'une nière continue ou temporairement, l'extrémité d'une e *c* mobile autour du point *f* et dont l'extrémité opposée *e* nie d'une fourche embrasse un goujon fixé sur une tige izontale A mobile entre des glissières qui ne permettent un mouvement longitudinal. Il est facile de voir que le uvement du levier L l'amenant à la position L' amènera t le système dans la position *m'*, *b'*, *c'* et l'extrémité *e* ivant en *e'* aura déplacé toute la tige A d'une longueur le à *ee'*. Comme nous allons le dire, c'est le mouvement cette tige et d'autres analogues qui produit l'enclanche-ent.

D'autres pièces sont reliées à la tige A; ce sont des pla-ues de tôle découpées auxquelles, suivant l'usage adopté, ous conservons le nom anglais de *lock* : elles sont mo-iles autour d'un axe vertical *h* et par leur autre extrémité les reposent sur la tige A à laquelle elles sont reliées r l'intermédiaire d'une fourche et d'un goujon *k* : ces cks portent latéralement des entailles, sur un bord ou sur utre, ou sur les deux : les saillies qui en résultent se uvent en face des leviers de manœuvre, elles arrêtent ou rmettent son mouvement suivant qu'elles ont été entraî-s dans un sens ou dans l'autre par la tige A, tige dont le uvement sera déterminé par l'action d'un levier enclan-ur. On voit que, dans la position de la figure, les le-rs L_1, L_2 et L_4 sont mobiles et peuvent être amenés en L'_1, et L'_4 tandis que L_3 est fixé, enclanché. Mais si l'on vient aire mouvoir la tige A dans le sens de la flèche, les le-ers L_1 et L_2 seront arrêtés, le levier L_3 sera rendu libre pourra être amené en L'_3 tandis que le dernier levier préa-blement amené en L'_4 y sera maintenu invariablement.

On conçoit que, en ayant, placées les unes au-dessus des autres, au plus autant de barres A qu'il y a de leviers enclancheurs et sur chacune d'elles au plus autant de locks qu'il doit y avoir de leviers enclanchés, il soit possible de satisfaire à toutes les liaisons propres à amener l'impossibilité de faire deux manœuvres contradictoires.

Toutes ces pièces sont situées au-dessous du plancher, que les leviers dépassent seuls.

La forme des diverses pièces, le mode de liaison, de communication de mouvement ont été variés notablement par MM. Saxby et Farmer ; l'enclanchement dans certains cas (*fig.* 3) est produit, non par les locks, mais par des tiges cylindriques a_1, a_2, liées aux leviers et passant dans des ouvertures pratiquées dans la tige A placée de champ, lorsque la manœuvre peut se faire, et venant buter contre cette tige sur une partie pleine, lorsque le mouvement ne peut s'effectuer. Les leviers de manœuvre ont été munis d'un encliquetage analogue à celui qui existe dans le levier de la coulisse de Stephenson dans les locomotives et qui arrête le levier, lorsqu'il est poussé à fond dans un sens ou dans l'autre ; mais, en somme, l'idée générale est la même, et nous ne pensons pas devoir entrer dans ces détails. Ces diverses modifications, et d'autres encore que nous passons sous silence, ont été employées par MM. Saxby et Farmer suivant les circonstances locales qu'ils rencontraient.

C'est à ce système modifié et amélioré, croyons-nous, dans quelques points de détails qu'il faut rattacher les dispositions adoptées par la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée et appliquées en divers points, notamment à l'embranchement de Villeneuve-Saint-Georges.

Deuxième système Saxby et Farmer (1871) — Dans un brevet pris en 1871, MM. Saxby et Farmer modifièrent assez notablement les organes d'enclanchement : voici du reste la description abrégée de leurs appareils (*fig.* 4, 5, 6, 7, 8 et 9).

La tige du levier L (*fig.* 9) est articulée en *o* sur une flasque en fonte, et *l* est la partie qui est reliée à la chaîne ou à la tige de communication du mouvement. Le levier porte une pièce *p* que l'on peut déplacer à l'aide d'un encliquetage à ressort *q*; cette pièce glisse dans une rainure *uv*, aux deux extrémités de laquelle elle peut se fixer, en décrivant un arc de cercle dont le centre est en *o*; la rainure fait partie d'un arc mobile autour d'un axe horizontal *x*, excentré, par conséquent, par rapport au levier, de telle sorte que lorsque le levier est mû d'une extrémité à l'autre de la rainure, il fait basculer cet arc tantôt d'un côté, tantôt de l'autre. A l'une des extrémités, cet arc se prolonge par une partie plus ou moins courbe *vs* qui s'articule avec une tige verticale *t* mobile dans des glissières convenablement disposées. C'est par l'intermédiaire de cette tige que le levier peut devenir tantôt organe enclancheur et tantôt enclanché.

Lorsque le levier doit agir comme enclancheur (*fig.* 4, 5 et 9), la tige *t* porte sur la face postérieure une pièce en saillie *y* inclinée sur la verticale et passant dans une encoche faite dans une barre horizontale A, qui doit, d'autre part, produire l'enclanchement de leviers voisins. On voit à l'inspection de la figure que la barre A sera poussée vers la droite ou vers la gauche, suivant que la tige *t* descendra ou montera, ce qui correspond à un mouvement du levier L dans un sens ou dans l'autre.

Lorsque le levier doit être enclanché (*fig.* 6, 7 et 8), il porte sur sa face postérieure une pièce verticale en saillie *z*; la barre A passe au-dessus de cette saillie, elle présente une encoche qui permet à la saillie de passer, lorsqu'elle est directement au-dessus de la saillie, tandis que la barre A s'oppose au déplacement de cette pièce *z*, si l'encoche est, par suite du mouvement de A, reportée, soit vers la droite, soit vers la gauche.

Dans l'appareil complet, il y a à diverses hauteurs plu-

sieurs barres analogues à A qui sont mues par des leviers différents, et règlent le mouvement des autres, de telle sorte qu'un levier qui est enclancheur, par rapport à l'une de ces barres, est enclanché par les autres. Sans entrer dans la description complète du système correspondant à un embranchement, il est facile de voir que, comme pour le modèle précédent, cette disposition permet de relier le mouvement des leviers qui actionnent les aiguilles et les signaux de manière à empêcher toute collision accidentelle.

Système F. Brady. — M. Brady, directeur de l'exploitation du South Eastern Railway, a imaginé en 1867 un appareil destiné à assurer la sécurité des trains aux passages des aiguilles et aux croisements de voies. Il s'agit encore d'un système d'enclanchement des leviers de manœuvre des disques et des aiguilles, système qui s'oppose au mouvement d'une aiguille, tant que l'on n'a pas fait mouvoir les disques ou signaux quelconques qui couvrent le passage. Nous étudierons ce système comme les précédents en indiquant d'abord comment un levier agit comme enclancheur puis comment il peut être enclanché.

Soit L (*fig.* 11, 12, 13), un levier de manœuvre, *o* l'axe de rotation et *l* la partie qui commande directement la manœuvre : à ce levier est articulée une bielle B qui, d'autre part, est reliée à une manivelle C calée sur un arbre D s'étendant de l'un des côtés du levier sur une longueur variable ; sur cet arbre et à des distances égales sont *fixées* des cames E, dont la direction générale est horizontale ou verticale suivant la position du levier ; toutes les cames montées sur un même arbre sont parallèles à un même instant. Ce sont ces cames qui sont les organes d'enclanchement. Le même levier L peut commander par une bielle B' fixée au-dessous de l'axe de rotation, un arbre D' situé sur le prolongement du précédent D et portant également des cames. Il existe ainsi plusieurs arbres paral-

lèles $D_1D'_1$, $D_2D'_2$, etc., mus par des leviers placés à côté les uns des autres, et à la même distance que celle qui sur un même arbre sépare les cames. Étudions maintenant un des leviers qui doivent être enclanchés (*fig.* 14 et 15) : ce levier mobile autour de l'axe *o* porte une tige horizontale G articulée en I : cette tige porte à des distances égales des bielles H_1, H_2 qui d'autre part sont mobiles autour des points K_1, K_2. Ces bielles sont en face de chacune des cames E, dont nous avons parlé précédemment : il suffit que l'une de ces cames, E_1 par exemple (*fig.* 14), soit relevée pour que la tige G ne puisse se mouvoir et que le levier L soit invariablement maintenu dans l'une de ces positions extrêmes ; mais (*fig.* 15), si toutes les cames sont abaissées, le levier peut se déplacer et atteindre la limite de sa course. Le mouvement de ce levier dépend donc de la position des cames et, par suite, de la position du levier enclancheur, ce qui permet toutes les combinaisons possibles.

Comme pour le système Saxby et Farmer, on conçoit facilement dès lors qu'il soit possible d'établir entre les divers leviers des liaisons telles que chacun d'eux ne puisse être mis en action que lorsque tous les signaux propres à garantir la manœuvre ont été faits.

Les systèmes que nous venons de décrire sont employés en Angleterre sur une grande échelle ; le dernier serait appliqué à la gare de Cannon Street. Ce n'est pas seulement d'ailleurs par l'emploi de ces systèmes que la manœuvre des aiguilles d'embranchement et de changement de voie en Angleterre se distingue de ce qui se fait en France ; c'est aussi par la concentration dans un *signal-box* de tous les leviers qui correspondent aux diverses aiguilles d'un embranchement ou même d'une gare. Le bâtiment (*signal-box*) où sont réunis tous les leviers est quelquefois placé latéralement à la voie, mais souvent il est placé au-dessus sur une passerelle spéciale élevée à cet effet. C'est de cet

observatoire unique que les manœuvres sont toutes assurée par un très-petit nombre d'employés. A la gare de Canno Street, plus de 600 trains arrivent chaque jour : les mou vements sont réglés sur les 9 voies de la gare par 40 ai guilles : deux sémaphores sont placés aux entrées du pont le signal-box a 12m,60 sur 2,70; il est surmonté de 4 mât portant 24 bras de sémaphore. Il y a 67 leviers de ma nœuvre, dont 37 actionnent les signaux et 30 les aiguilles il n'y a pas moins d'un millier de locks pour satisfair aux mouvements et aux combinaisons de toutes ces ma nœuvres.

On pourra se faire une idée de l'avantage provenant d l'emploi du système de concentration des leviers de ma nœuvre et de l'application de l'enclanchement, par ce fai que dans un seul jour 775 trains ont passé sous le *signal box;* 35 trains ont pu être signalés et aiguillés en 35 mi nutes. Un appareil télégraphique met d'ailleurs la statio de manœuvre en rapport avec les stàtions voisines. Deu hommes suffisent à diriger ce mouvement considérable de trains : il y a en outre un employé pour le télégraphe; la durée du travail est de huit heures par jour.

VII. — Appareils de sûreté pour les aiguilles.

Il peut arriver, par suite de diverses circonstances, que les aiguilles qui commandent les embranchements ou les changements de voies sur les chemins de fer ne prennent pas ou tout au moins ne gardent pas la position qu'elles devraient régulièrement occuper pour assurer l'exactitude de la manœuvre. Il suffit du desserrement d'un boulon, d'un relâchement des assemblages pour que le boudin des roues puisse accrocher l'aiguille, passer entre elle et le rail; les mêmes conditions peuvent permettre à l'aiguille

être mal faite bien que le signal correspondant soit correct, et l'on conçoit sans peine les inconvénients qui peuvent résulter de ce fait. D'autre part, il peut arriver que pendant que le train passe l'aiguille soit changée par inadvertance, ce qui amène forcément un déraillement plus ou moins grave.

MM. Poulet et Luneau ont eu l'occasion de voir un appareil destiné à parer à ces inconvénients et qui est en usage à Londres aux gares de Cannon Street, de Charing-Cross et de Ludgate Hill. Cet appareil, dont l'invention est toute récente, est construit par MM. Saxby et Farmer : il a pour but de rendre absolument impossible tout déplacement de l'aiguille pendant le passage d'un train, en même temps que ce passage assure la fixité de la position de cette aiguille et celle du disque ou signal qui fait connaître cette position.

Nous allons indiquer le principe de l'appareil dont nous venons de parler :

Soient *cd*, *ef* les aiguilles reliées l'une à l'autre par la tige de fer *pp'* et mues par les leviers coudés *ghiklm* qui actionnent en même temps à distance le signal qui fait connaître la situation de l'aiguille (Pl. 4, *fig.* 16). Le long de l'un des rails et à l'extérieur, par exemple, règne une barre de fer plat *qq'* (*fig.* 16 et 22) : cette barre est mobile et peut se déplacer parallèlement à elle-même, parce qu'elle est portée par des manivelles rr', $r_1r'_1$.... $r_4r'_4$ dont les têtes inférieures passent dans des coussinets spéciaux fixés à la partie inférieure du rail (*fig.* 22 et 23). Suivant que ces manivelles sont inclinées dans un sens ou dans l'autre par rapport à la verticale, elles correspondent à une position distincte de l'aiguille, voie ouverte ou voie fermée. La barre *qq'* a une longueur plus grande que celle qui sépare deux roues consécutives dans un train, de telle sorte qu'avant qu'un wagon soit arrivé à l'aiguille, et pendant tout le temps du passage du train, une roue au moins

se trouve au-dessus de la barre qq'; les roues forcent donc alors la barre qq' à rester à un niveau inférieur à celui du sommet du champignon du rail et s'opposent absolument à tout mouvement de cette barre dont la position est ainsi fixée pendant toute la durée du passage du train considéré. Or, l'une des manivelles dont nous avons parlé pp' est calée à sa partie inférieure sur un arbre ll' qui, d'une part, commande le levier de transmission *klm* et, d'autre part, porte deux autres manivelles uu', vv'. Par l'intermédiaire de l'arbre ll' et du levier *klm*, la fixité de la barre qq' pendant le passage du train s'oppose à tout dérangement dans le signal et à toute manœuvre intempestive du levier qui commande l'aiguille. Les deux manivelles *uu* et vv' (*fig.* 16, 20 et 21), qui sont dirigées en sens inverse, sont reliées par des tiges de fer à deux coins métalliques x et y qui par la rotation de l'arbre ll' entraînant les manivelles uu' et vv' sont poussés tantôt en avant et tantôt en arrière. Ces coins maintiennent en contact invariable avec le rail correspondant l'aiguille *ef* ou l'aiguille *cd*. Dans le cas représenté par les figures le coin y est avancé vers la droite et maintient l'aiguille *cd* en contact intime avec le rail a', b' et ce contact sera assuré tant que la barre qq' ne pourra dépasser le sommet du champignon de *ab*, c'est-à-dire tant qu'un train passera. Mais, la voie étant libre, si l'on agit sur le levier *mlk*, les manivelles tourneront autour des points $r'r'_1...r'_4$ et prendront des positions symétriques à celles qu'elles occupent; il en sera de même des manivelles ss', uu' et vv'; ces dernières entraînent : l'une le coin y vers la gauche, ce qui rendra libre l'aiguille *cd* et lui permettra de s'écarter de $a'b'$; l'autre, le coin x vers la droite, ce qui fixera invariablement l'aiguille *ef* contre le rail *ab*. Mais une fois ce changement effectué, un train arrivant maintiendra la barre qq' dans sa nouvelle position et assurera absolument la fixité de tout le système.

MM. Saxby et Farmer ont proposé diverses modifications

à l'appareil dont nous venons d'exposer le principe : nous pensons inutile d'entrer dans ces détails, et nous nous bornerons à faire connaître deux changements qui, à divers égards, ne nous paraissent pas sans importance.

La barre qq', qui avait été placée d'abord en dehors du rail et qui était alors maintenue par la jante de la roue (*fig.* 23), est placée dans les dernières planches du brevet en dedans du rail et est actionnée, par suite, par le boudin de la roue (*fig.* 24). Outre que, en général, les abords des rails sont plus dégagés à l'intérieur de la voie qu'à l'extérieur, on conçoit que la barre qq' n'a pas besoin d'être maintenue à un niveau si élevé et qu'il est possible d'obtenir que, dans aucune position, elle ne dépasse le sommet du champignon.

La seconde modification que nous voulons signaler rentre à peu près dans le système général d'enclanchement dont nous avons parlé précédemment. Soient ab, $a'b'$ les rails (*fig.* 26) et cd, ef les aiguilles : elles sont mues par l'intermédiaire de tiges de transmission et de leviers coudés $gg'hii'kll'm$ aboutissant au levier de manœuvre ; vers leurs extrémités ces aiguilles sont reliées par une barre de fer ec (*fig.* 25 et 26) formée par une lame de tôle placée de champ glissant dans un coussinet spécial et présentant deux ouvertures ovales ω et ω' pouvant l'une ou l'autre, suivant la position des aiguilles, se placer en face d'une ouverture analogue pratiquée dans le coussinet r. D'autre part, un levier spécial est relié invariablement à la tige nn' qui par l'intermédiaire de la manivelle $n'o$ fait mouvoir le levier op' et la tige $p'q'$ entraînant la barre qq' et le levier op entraînant la tige pr. La tige pr passe dans le coussinet r, dont nous avons parlé, de telle sorte que son mouvement n'est possible, qu'elle ne peut être poussée à fond que si l'une des ouvertures de la lame ec se trouve en face de l'ouverture du coussinet ; c'est-à-dire, et c'est là un point capital, que cette tige ne peut être mue que lorsque l'aiguille est

en contact absolu avec le rail correspondant, soit d'un côté, soit de l'autre; en même temps cette tige enclanche les aiguilles de telle sorte qu'il est impossible de les déplacer ou qu'elles ne peuvent être mues accidentellement sans que l'on ait au préalable fait mouvoir ce verrou spécial *nn'opr*.

Mais ce n'est pas tout, et l'appareil est disposé de manière que les aiguilles ne puissent être déplacées pendant la durée du passage d'un train. A cet effet, une barre de fer *qq'*, analogue à celle que nous avons décrite plus haut, est reliée par les tiges *q'p'oq* à la tige faisant fonction de verrou d'enclanchement *pr*. Cette tige *pr* étant placée de telle sorte que son extrémité passe dans l'une des ouvertures ω ou ω', la barre *qq'* se trouve au-dessous du niveau des boudins des roues et ceux-ci l'empêchent de se relever; la tige *pr* est donc maintenue fixe et la lame *co* étant enclanchée, les aiguilles sont invariables.

On remarquera que dans le premier système que nous avons décrit, il suffisait que les aiguilles fussent placées *à peu près* dans la position convenable pour que le passage du train les amenât *absolument* à cette position et les y maintînt; dans ce second système, qui paraît suffisant sur les points où il est employé en Angleterre, il faut que l'aiguille soit *faite complètement* avant le passage du train qui la maintient; mais d'autre part, quelle que soit la distance des leviers de manœuvre, on peut savoir si l'aiguille est *complètement faite* puisque si cette condition n'est pas remplie, le levier d'enclanchement *nn'opr* ne peut fonctionner.

Les dispositions dont nous venons de rendre compte peuvent varier suivant les circonstances : elles ont été modifiées de diverses manières par leurs inventeurs, mais nous croyons avoir exposé les points les plus importants du principe général et les systèmes les plus distincts qui ont été signalés par MM. Poulet et Luneau.

VIII. — Cabestans hydrauliques.

Nouveaux cabestans hydrauliques de la maison Armstrong. — Gare de marchandises du North Eastern, à Newcastle. — La machine à vapeur, dont l'emploi est fort avantageux dans un grand nombre de circonstances, ne donne pas des résultats favorables dans certains cas particuliers, par exemple lorsqu'il s'agit de développer un effort considérable pendant un temps assez court et d'une manière intermittente ; il faut, en effet, que la machine soit assez puissante pour vaincre les plus grandes résistances qui peuvent se présenter, d'une part, tandis que, d'autre part, la machine reste inoccupée sous pression dans l'intervalle des instants où l'on en fait usage. On pare à ce grave inconvénient de diverses manières, et particulièrement en employant la pression de l'eau comme intermédiaire : une machine à vapeur, même faible, agissant d'une manière continue pour refouler de l'eau dans un réservoir situé à une grande hauteur emmagasinerait pour ainsi dire une quantité considérable de travail mécanique que l'on pourrait ensuite utiliser de manière à donner naissance à un effort plus ou moins notable dépendant de la hauteur du niveau de l'eau : la durée de l'effort dépendrait du temps nécessaire à vider le bassin, puis il faudrait attendre que le bassin fût de nouveau rempli pour pouvoir reproduire cet effort. Cette disposition, simple en théorie, mais peu pratique, est remplacée par l'*accumulateur* imaginé par M. Armstrong. On sait que cet appareil consiste en un cylindre à piston plongeur mis en communication avec une série de tuyaux aboutissant, d'une part aux points où l'effet doit se produire, d'autre part à une pompe foulante mise en mouvement par une machine à vapeur. La tête du piston plongeur porte une charge considérable produisant sur l'eau située dans le cylindre une très-forte pression

dont la valeur s'obtient en divisant la charge par la surface de base du piston plongeur. En vertu des principes de l'égalité de transmission des pressions dans les liquides, cette pression existe dans tous les points du système lorsque l'eau est au repos et l'on peut, à l'aide d'appareils récepteurs appropriés, développer ainsi de grands efforts. La valeur de la pression obtenue est souvent considérable : elle peut être égale à celle qui serait produite par une colonne d'eau de 500, de 600 mètres. En réalité, et par suite du mouvement de l'eau qui entraîne des pertes de charge, la pression n'est pas partout la même : aussi, en général, place-t-on un certain nombre d'accumulateurs fournissant la pression nécessaire en divers points du circuit. Un dernier accumulateur plus chargé se trouve à l'origine du réseau, près de la pompe foulante : la surcharge est calculée de manière que la pression nécessaire soit atteinte dans les points les plus distants ; cet accumulateur sert en même temps de régulateur : lorsqu'il est complétement rempli, le piston, au terme de son ascension, agit sur un organe particulier qui arrête le refoulement de l'eau, tandis que par sa descente il remet en marche la pompe foulante.

La pression considérable ainsi transmise dans tous les points d'un réseau de tuyaux est utilisée dans des appareils de formes variées, élevateurs, grues hydrauliques, etc. Il suffit de tourner un robinet pour que l'appareil fonctionne lentement en général, mais avec une force irrésistible ; une autre position du robinet produit l'arrêt, une autre encore le mouvement en sens contraire sans que l'ouvrier ait à dépenser une force notable dans ces manœuvres. Des exemples des dispositions diverses qui peuvent être adoptées ont été donnés déjà dans les *Annales* (*) ; aussi nous bornerons-nous à signaler dans cet ordre d'idées une

---

(*) *Annales* 1875, 1er sem. Pont tournant de Marseille, p. 413.

disposition nouvelle, due à M. Wesmacott, de la maison Armstrong, et qui a été remarquée par MM. Poulet et Lumeau dans diverses circonstances où elle donnait des résultats satisfaisants : c'est un cabestan hydraulique qui a été appliqué à Londres, à Liverpool, à Swansea, et dont l'emploi était décidé pour les nouveaux ouvrages de Newport, Sharpness, Cardiff, etc.

Ce cabestan consiste en un tambour de fonte MNPQ (Pl. 4, fig. 28 *et* 29) posé sur un support cylindrique en fonte RSR'S pouvant être mû par un axe en fer forgé XY qui traverse le support et se prolonge au-dessous de la plaque de fondation ABCD (*fig.* 28, 29 *et* 30). Cet arbre, à sa partie inférieure, porte une manivelle *ab*, dont le bouton correspond, d'autre part, à deux tiges *cd*, *c'd'*, de pistons se mouvant dans les corps de pompe cylindriques *ef*, *gh*. Ces cylindres, susceptibles d'osciller autour des axes verticaux *mn*, *pq*, sont en communication avec un tuyau d'amenée de l'eau sous pression *rstu* et avec un tuyau d'exhaüstion *vxyz*. Sous l'influence de la pression de l'eau, les pistons prennent un mouvement alternatif et leurs tiges, par suite de l'oscillation des corps de pompe, agissant directement sur la manivelle, l'entraînent dans un mouvement de rotation qui, par l'intermédiaire de l'arbre XY, se transmet au tambour MNPQ. La disposition, le nombre et les dimensions des cylindres peuvent varier suivant la puissance que l'on veut développer.

Des appareils du même genre avaient été employés déjà; mais, placés sous le sol, ils étaient inaccessibles; ils étaient d'une surveillance impossible, et les réparations étaient difficiles et exigeaient pour ainsi dire une démolition et une construction nouvelle. M. Wesmacott, à qui l'on doit en Angleterre un grand nombre d'installations d'appareils hydrauliques, a imaginé une disposition qui lève ces difficultés. Dans ses nouveaux cabestans, tout le système que nous avons décrit est invariablement fixé sur une

forte plaque de fondation AA'C'CB'B (*fig.* 30) qui n'est pas scellée à demeure, mais qui est portée par deux tourillons *oo*, et qui peut ainsi tourner autour de l'axe horizontal que ceux-ci constituent ; de cette manière, il est possible de faire basculer l'appareil entier avec facilité (*fig.* 29) et d'examiner et réparer tous les organes. Cette disposition, qui rend de très-grands services dans la pratique, entraîne quelques particularités dans la construction : c'est ainsi que les tuyaux d'amenée et d'exhaustion de l'eau aboutissent aux tourillons, à la surface par les tuyaux qui conduisent aux cylindres *rstu vxyz* dans l'axe par ceux qui sont en relation avec le réseau αβ, γδ.

Une disposition entièrement analogue est également appliquée à la construction de cabestans à axe horizontal, de treuils qui sont placés à la surface du mur, à l'intérieur duquel, dans une cavité pratiquée spécialement, se trouve l'appareil moteur à l'abri derrière une plaque de *fondation* verticale.

Ces appareils, les premiers surtout, sont répandus dans les ports et dans certaines gares de chemins de fer où, concurremment avec les grues hydrauliques, ils facilitent considérablement les manœuvres et permettent de les exécuter rapidement avec un personnel restreint. Nous allons indiquer, comme exemple, l'installation des appareils hydrauliques divers de la gare des marchandises de Newcastle. Cette gare comprend une partie découverte et une halle couverte entre lesquelles se trouvent les voies principales (*fig.* 31), aboutissant à environ 1 kilomètre à la station des voyageurs. Ces voies sont sur un viaduc qui se trouve à 5 mètres au-dessus du sol de la halle couverte, à 7 mètres au-dessus de la halle découverte.

La halle couverte a une étendue de 105 mètres sur 130; sa toiture est portée par des colonnes distantes de 15 mètres les unes des autres; elle comprend onze voies, trois quais de débarquement et deux chaussées pavées en bois pour

voitures. Chaque quai est bordé d'un côté par une voie, de l'autre par une chaussée pavée; des grues hydrauliques sont installées sur chaque quai à des distances de 5 mètres, alternativement de l'un et de l'autre côté; ces quais présentent des soupiraux qui les mettent en communication avec le sous-sol qui sert de dépôt ou magasin provisoire. Des grues hydrauliques sont également placées à des intervalles de 5 mètres, le long des murs qui limitent latéralement la gare. Les grues placées sur les quais servent à faire passer avec rapidité les marchandises des wagons qui sont sur les voies adjacentes dans le sous-sol, et plus tard de ce sous-sol sur les voitures amenées sur les chaussées voisines, ou réciproquement; les grues placées sur les côtés servent à compléter le chargement de wagons par des wagons à demi remplis.

Tous les 45 mètres se trouve une voie transversale qui coupe la gare dans toute sa largeur: aux points où elle rencontre les onze voies déjà signalées, se trouvent des plaques tournantes, et un cabestan hydraulique est placé près de chaque intersection, quelques autres sont situés à l'extrémité des voies. Ce sont ces cabestans qui exécutent tous les mouvements de trains ou de wagons dans la gare; une corde est attachée au train ou au wagon qu'il s'agit de déplacer, on lui fait faire deux tours sur le cabestan et, par le mouvement d'un robinet, la traction s'exerce sans effort de l'homme, sans bruit. Des rouleaux placés en divers points permettent d'étendre l'action des cabestans en dehors de leur ligne d'action directe en faisant réfléchir la corde suivant une nouvelle ligne et avec peu de frottement.

Enfin les voies tranversales dont nous venons de parler font communiquer par-dessous le viaduc la halle couverte avec la gare découverte où se trouvent des voies leur faisant suite, mais à un niveau différent, à 2 mètres en contre-bas. Des plates-formes mobiles amènent successivement les wagons de l'un à l'autre niveau: chaque plate-

forme est constituée par un châssis en fer *ab* (*fig.* 27), porté en son centre par la tête d'un piston plongeur *gh* que peut soulever la pression de l'eau; le parallélisme de la plateforme dans son mouvement est assuré par un double parallélogramme articulé *abcdef*, dont les montants sont munis de contre-poids *k* pour faciliter l'ascension et retarder la descente.

L'accumulateur et la machine à vapeur qui l'alimente sont situés à quelque distance, sous une partie des arches du viaduc.

IX. — Nouveaux murs de quai du port de Glascow.

Bien que de nombreux travaux aient été exécutés depuis un siècle, surtout à Glascow, pour améliorer la navigation de la Clyde et faciliter le mouvement commercial, le développement des transactions a conduit, il y a quelques années encore, à proposer la construction de nouveaux quais, de docks, de forme de radoub. Ces propositions étaient justifiées par l'augmentation du tirant d'eau maximum des navires, qui était seulement de $5^m,40$ en 1851, tandis qu'il atteignait $6^m,60$ en 1871; par le tonnage des marchandises importées et exportées qui, pendant la même période, avait passé de 1.025.000 tonnes à 2.100.000. Pendant le même temps, la longueur des quais s'était accrue seulement de 3.250 à 5.050 mètres, et la superficie du port avait varié de 20 à 30 hectares seulement. Les travaux d'approfondissement du chenal furent poussés avec activité et amenèrent des résultats satisfaisants (la profondeur s'éleva de $6^m,05$ à $6^m,90$ entre les années 1851 et 1871). D'autre part, on construisit des quais et l'on commença le creusement de docks importants : c'est une commission spéciale, dite des *Trustees de la Clyde* qui, depuis 1858, a succédé aux magistrats municipaux et qui est actuellement chargée

de la direction des travaux des quais, des docks, des formes de radoub, etc.

L'exécution du *Plantation quay* et des quais du dock dit de *Stob-Cross* a présenté des difficultés qui ont conduit à l'adoption d'un mode particulier d'exécution que nous allons exposer sommairement, sans nous arrêter à la description des types anciennement adoptés et des modifications qu'il a fallu leur faire subir par suite de l'approfondissement continu du chenal. Une partie des quais des docks de Stob-Cross seulement est construite d'après ce système, le terrain présentant des natures différentes dans l'étendue de ces constructions.

Le *Plantation quay* fut construit sur un terrain constitué entièrement par du sable : ce terrain, qui s'avançait dans la rivière, était perreyé et formait un batardeau naturel à l'abri duquel on pouvait exécuter les travaux. Le long de ces perrés la profondeur de l'eau était de $4^{m},20$ à la marée basse et atteignait $6^{m},60$ à la marée haute; mais il fallait prévoir un approfondissement au pied du quai et, par suite, descendre les fondations à une profondeur suffisante : on admit que les dragages abaisseraient le fond du bassin à 6 mètres au-dessous des basses mers. La nature du sol ne permettait pas d'espérer que l'on pût atteindre un terrain solide, on résolut donc de descendre simplement les fondations dans le sol à $4^{m},20$ au-dessous du fond projeté du port, soit à $10^{m},20$ au-dessous du niveau des basses mers. Dans ces conditions on pensa qu'il était impossible d'adopter le mode de fondation sur pieux et l'on accepta les propositions de M. Milroy, qui fut chargé de la construction de 360 mètres de quais fondés sur puits en briques ou en béton de ciment de Portland foncés dans le sol à la profondeur requise. Nous allons entrer dans quelques détails relativement à ce mode de fondation tel qu'il a été employé à Glascow, en raison de l'importance des applications qui en ont été faites dans ce port.

I. *Composition d'un puits.* — Chaque puits présente à sa partie inférieure un sabot auquel on a donné la forme la plus simple; il est en effet constitué par une pièce en fonte composée d'un anneau cylindrique vertical haut de $0^m,914$ environ sur un diamètre de $3^m,80$ (Pl. 5, *fig.* 3 et 4) égal au diamètre extérieur du puits, et un anneau circulaire horizontal ayant même diamètre extérieur et une largeur de $0^m,45$; ces deux parties du sabot sont consolidées par des nervures.

Sur cette pièce en fonte, on élevait des assises de briques sur une hauteur de $0^m,80$ environ; ces assises, dont le diamètre extérieur était celui du cylindre même ($3^m,80$), étaient à l'intérieur placées en encorbellement jusqu'à ce que le diamètre intérieur fût réduit à $2^m,36$ qui régnait jusqu'au sommet du puits. Un cercle de fer plat (*fig.* 10) se trouvait placé entre deux rangées de briques à $0^m,70$ du sabot, et des boulons reliaient ces deux pièces de manière que toute cette première partie pût être considérée comme un monolithe.

Cette base ainsi constituée, on construisait le puits en plaçant au-dessus des anneaux de $0^m,75$ de hauteur faits à l'avance qui, primitivement construits en briques, furent plus tard, par raison d'économie, exécutés en béton de ciment de Portland. Ces anneaux, dont le poids est de 10 tonnes environ, sont ainsi superposés les uns aux autres jusqu'à ce que le cylindre formé ait atteint la hauteur projetée de 8 mètres.

Lorsque le puits est enfoncé jusqu'à la profondeur à laquelle il doit parvenir, on le comble à sa base sur une hauteur de $1^m.70$ par une masse de béton composée de 1 de ciment de Portland et de 5 de gravier; puis on remplit le cylindre de gravier.

II. *Groupement des cylindres.* — On pouvait craindre que les variations du niveau de l'eau produites par les marées ne provoquassent un écoulement du sable à tra-

ers les espaces qui séparent les puits et qu'il en résultât n déplacement de ceux-ci. Pour empêcher des mouve-ments de dévers dans les fondations, on résolut de grouper les puits en en rendant plusieurs solidaires : de cette manière, ils opposent une plus grande résistance à a poussée de la terre, et, en même temps, on diminue le ombre des interstices qui existent entre les cylindres (les ylindres d'un même groupe formant une pièce continue) t, par suite, on diminuait les chances d'écoulement du able et de mouvement du sol. Divers modes de groupe-ment furent proposés (*fig.* 11 à 14) : pour le Plantation uay, on adopta le groupement par trois cylindres, comme indique la *fig.* 12 : aux quais du Stob-Cross dock, on a dmis le même groupement, mais les groupes sont enche-vêtrés (*fig.* 11) : de cette manière ils se prêtent un mutuel appui et le sable ne peut s'écouler qu'avec plus de difficulté. (Les cylindres employés dans cette construction s'élèvent jusqu'au-dessus du niveau des basses mers.)

Le mode de groupement adopté à Plantation quay (*fig.* 12) n'empêche pas absolument le sable de terre-plein de s'écouler dans la rivière : pour s'opposer à cette ten-dance, les anneaux constituant les cylindres présentaient, lorsqu'ils étaient en briques, les uns une rainure, les autres une languette : la pénétration de la languette d'un cylindre dans la rainure du cylindre voisin formait un assemblage impénétrable au sable, sinon à l'eau. Cette disposition ra-tionnelle, mais qui devait présenter des difficultés réelles dans la construction, fut supprimée lorsqu'on remplaça les briques par du béton.

III. *Profil et construction du mur* (*fig.* 1). — Le mur qui s'élève au-dessus des puits de fondation présente une surface extérieure avec un fruit $\frac{1}{20}$ construite en briques avec mortier à 2 1/2 de sable pour 1 de ciment de Portland. Le massif intérieur est en maçonnerie brute et coupé par deux assises horizontales de briques ; la surface postérieure

présente des retraites, de telle sorte que l'épaisseur du mur qui est à la base de 3^{m},15 n'est que de 2^{m},20 au sommet. Le couronnement, qui est situé à 2^{m},40 au-dessus des hautes mers, est surmonté d'un parapet de granit de 0^{m},42. Enfin, on a remblayé derrière le mur avec des escarbilles, et des tuyaux en fonte placés de distance en distance et aboutissant à des filtres en pierres cassées assurent l'écoulement des eaux.

L'axe du mur correspond à la ligne des centres des cylindres jointifs : le mur se trouve donc en porte-à-faux entre les surfaces extérieures des cylindres : il est posé sur des sommiers en fonte franchissant ces intervalles et renforcés du côté de l'angle des surfaces cylindriques par des dés en pierre,

IV. *Mode d'exécution des travaux.* — Nous allons entrer maintenant dans quelques détails relatifs au mode d'exécution des travaux :

A. *Construction des cylindres.* — Ainsi que nous l'avons dit, les cylindres sont constitués d'anneaux faits à l'avance et que l'on superpose successivement, ce mode de construction étant caractéristique du système Milroy. Dans le cas de cylindres en béton, des moules en bois, formés de bordages extérieurs et intérieurs, limitent la forme de l'anneau et sont maintenus en place sur un sommier : quatre mandrins par anneau sont placés sur ce sommier de manière à réserver dans le bloc quatre trous carrés de 0^{m}.12 de côté. On verse dans le moule le béton, composé de 3 parties de gravier, 2 de pierres cassées et 1 de ciment de Portland : on peut, à l'aide de planches placées verticalement, séparer le bloc *en trois ou quatre* segments plus faciles à transporter que l'anneau entier. Au bout d'une journée, la prise était suffisante pour qu'on pût enlever les moules ; mais les blocs restaient trois semaines sur le chantier avant d'être déplacés. Ces blocs annulaires avaient un volume de 5^{mc},375 et un poids de 10 tonnes environ.

Dans le cas d'anneaux construits en briques, le bordage intérieur du moule était supprimé : les briques employées, au nombre de 2.000, étaient maçonnées avec un mortier formé de parties égales de sable et de ciment de Portland. En moins d'un jour la prise était suffisante pour qu'on pût enlever le moule et on laissait les blocs cinq jours avant de les déplacer.

Par ce procédé, quatorze moules ont suffi pour exécuter 1.200 anneaux pesant ensemble 1.000 tonnes environ.

Les anneaux dont l'ensemble constituait un puits étaient successivement placés les uns au-dessus des autres et réunis comme suit : on ménageait entre deux anneaux un certain vide en interposant trois minces lattes ; on jointoyait ce vide intérieurement et extérieurement afin d'obtenir une cavité fermée, puis par les trous réservés dans l'anneau, on versait un coulis de ciment et l'on descendait, au fond de ces trous, des briques qui, prises dans la masse du ciment, formaient des tenons et empêchaient tout mouvement relatif.

B. *Exécution des travaux ; mise en place des cylindres.* — Ainsi que nous l'avons dit, les travaux de fonçage des cylindres se faisaient en arrière de la rive protégée par un perré : on ouvrit sur l'emplacement des quais futurs une tranchée et on la descendit jusqu'à 0,60 environ au-dessus du niveau des basses mers : de cette manière, sans prévenir absolument l'entrée des eaux, on les empêchait néanmoins de devenir gênantes. On mettait alors soigneusement les sabots en place, veillant à ce qu'ils occupassent bien leur position exacte et à ce que leur base supérieure fût bien horizontale. On procédait alors à la mise en place des anneaux qui, construits et emmagasinés sur une plate-forme voisine, étaient amenés sur des trucs roulant sur une voie ferrée ; une grue à vapeur D roulant sur un échafaudage mobile les saisissait et les transportait sur le puits en construction C (*fig.* 7).

L'enlèvement des blocs annulaires était rendu facile par l'emploi de l'appareil représentée *fig.* 8 et qui est une espèce de louve à trois branches recourbées à leur partie inférieure. Lorsque l'on voulait soulever un bloc, cet appareil était amené au centre de l'anneau et les parties recourbées des leviers placées dans des encoches faites à dessein à la partie inférieure du bloc. Lorsque la chaîne de levage se tendait, elle tendait à rapprocher les parties supérieures des leviers, à éloigner par suite les parties inférieures, ce qui maintenait l'appareil solidement en place : d'autres chaînes inférieures empêchaient l'appareil d'avoir une tendance à trop s'ouvrir, ce qui eût amené un écrasement du béton au point de contact. Lorsque le bloc annulaire était posé, il suffisait de descendre la chaîne de levage pour que les leviers fussent redressés et complétement dégagés, ce qui permettait d'enlever l'appareil.

Au fur et à mesure que par l'addition de nouveaux anneaux le poids du nouveau cylindre augmentait, celui-ci s'enfonçait et l'on continuait jusqu'à ce que le cylindre eût atteint sa hauteur totale qui correspondait à 8 assises, soit environ 85 tonnes. La descente des cylindres était alors provoquée de nouveau par l'addition d'une surcharge : M. Milroy ne voulut pas employer des rails pour constituer cette surcharge comme cela avait été fait auparavant. Il se servit d'anneaux de fonte ayant mêmes diamètres intérieur et extérieur que les cylindres sur lesquels on les posait et une hauteur de $0^m,125$: chaque anneau, dont le poids était de 4 à 5 tonnes, était placé soigneusement sur le sommet des cylindres comme les anneaux mêmes et produisait une surcharge bien régulière. Ce procédé est rationnel et donne des résultats satisfaisants : il ne présente que l'inconvénient d'exiger un approvisionnement considérable de fonte (900 tonnes à Glascow) qui ne peut être utilisée que par une refonte. La surcharge a été en moyenne de 310 tonnes pour un cylindre et s'est

élevée jusqu'à 370 dans quelques cas, ce qui portait à 500 tonnes la charge totale, poids du sabot, de la maçonnerie de briques, du cylindre de béton et des anneaux de fonte.

Malgré cette surcharge, les puits n'auraient pu descendre jusqu'à la profondeur adoptée, et pour les amener au niveau projeté il fallait enlever le sable à l'intérieur, ce qui se faisait à l'aide de l'*excavateur.*

C. *Excavateur Milroy.* — L'excavateur dont il nous reste à parler, et qui rappelle comme idée générale la drague américaine de Morris et Cummings, a été inventé par M. Milroy : il consiste en un cadre octogonal (*fig.* 5 *et* 6), *abcdefgh*, consolidé par des fers à T, aboutissant d'une part aux sommets et d'autre part à un petit anneau en fer placé au centre. Sur chacun des côtés de cette base est articulée, à l'aide de fortes charnières, une sorte de fer de bêche triangulaire; ces fers de bêche peuvent avoir deux positions différentes : ils peuvent être verticaux et, dans ce cas, lorsque l'excavateur descend dans le puits, ces fers de bêche pénètrent dans le sol qu'ils ameublissent; ils peuvent être horizontaux, et leur réunion forme un plan propre à enlever les déblais obtenus précédemment.

On fait passer facilement l'appareil de l'une à l'autre de ces positions : à cet effet, la chaîne de levage *kk'* qui se termine en 8 chaînettes, telles que *k'l* aboutissant vers le sommet de chacune des lames triangulaires, porte à une certaine hauteur un déclic *mn* que l'on peut ouvrir à l'aide d'une corde spéciale *no*. Lorsque ce déclic est fermé, il réunit la chaîne de levage à quatre chaînes spéciales *pq* aboutissant d'autre part sur le cadre octogonal; les chaînes *kl* sont alors relâchées et les fers de bêche verticaux, l'appareil, monté et descendu successivement, entame le sol; le déclic *mn* est alors ouvert, les chaînes *pq* tombent, et lorsqu'on tirera la chaîne de levage *kk'*, les chaînettes *k'l*

se tendront et agiront sur les fers de bêches qu'elles ramèneront à l'horizontalité en soulevant le sable précédemment ameubli qui est amené jusqu'à l'orifice du cylindre.

A Glascow, l'appareil qui porte l'excavateur est un échafaudage mobile E (*fig.* 7), portant un treuil à vapeur F et pouvant passer au-dessous du pont roulant décrit plus haut.

Les déblais amenés par l'excavateur sont placés dans des wagons et emmenés jusqu'au lieu de dépôt.

Le poids de l'excavateur ne suffisait pas à introduire assez profondément l'appareil dans le sol pour que le volume de déblais extraits à chaque fois fût suffisant. On force l'appareil à descendre à l'aide de chaînes *zs* (*fig.* 3) fixées extérieurement et qui, passant sur des poulies *st*, dont le jeu est facile à comprendre, remontent à l'orifice du cylindre et jusque sur le pont roulant E, où elles s'enroulent sur un treuil qui a été mû d'abord à bras, puis à la vapeur. Le treuil, en tournant, entraîne ces chaînes qui forcent l'excavateur à descendre.

La descente des cylindres s'effectuait à la fois sur une assez grande longueur, afin que l'enfoncement d'un groupe isolé n'entraînât pas de déviations dans les groupes voisins; il faut opérer de manière que l'enfoncement soit le même pour tous les cylindres, et que chacun d'eux reste bien vertical.

L'expérience a montré que pour que les dangers d'éboulements fussent faibles, il fallait battre, autour des groupes de cylindres sur lesquels on opérait et jusqu'à une certaine profondeur, un vaste blindage en tôle.

Aux docks de Stob-Cross, les travaux ne furent pas exécutés par M. Milroy : bien qu'il y ait quelques différences relatives à certains détails, le principe général de l'opération est le même, et nous n'insisterons pas davantage. Nous dirons seulement que l'on a essayé la pompe à sable pour remplacer l'excavateur et que l'on a dû y renoncer:

la quantité de sable enlevée était considérable, mais, par suite de cette action énergique et rapide, qu'il eût été difficile de régulariser, il se produisit des mouvements dans le sol environnant et même dans les cylindres.

V. *Durée des travaux; dépenses.* — Les travaux de fondation ont commencé en août 1869 et ont été terminés en janvier 1871; le quai a été complétement achevé en 1874. Grâce à l'emploi de l'excavateur, la descente des cylindres s'effectuait rapidement : dans quelques cas elle a atteint 3 mètres à l'heure.

Les quais construits à Plantation quay paraissent offrir une grande résistance; peut-être cependant ne faudrait-il pas descendre trop bas les dragages du port au pied des quais; dans une circonstance où, en un point, le dragage fut porté de 6 à $7^m,10$, dans le but d'arracher des pieux, on entendit un bruit analogue à celui d'une chute d'eau; le lendemain les cylindres présentaient un dévers de $0^m,037$ et la profondeur à l'extérieur n'était plus que de $5^m,10$. Une certaine quantité de sable avait passé de l'intérieur à l'extérieur sans doute en passant, en partie au moins, pardessous les cylindres. On fut conduit, à la suite de ce fait, à placer préventivement des tirants en fer reliant la face extérieure des cylindres, à des blocs de béton et de briques du poids de 4 tonnes et placés à 18 ou 20 mètres en arrière du quai.

La dépense totale a été de 4.670 francs par mètre courant environ : la valeur du matériel engagé dans l'entreprise était de 175.000 francs.

N° 11

THÉORIE DE LA STABILITE DES VOUTES.

Application des équations générales de la résistance des matériaux au problème de la stabilité des voûtes (*).

Par M. DE PERRODIL, ingénieur des ponts et chaussées.

PREMIÈRE PARTIE.

16. Les formules qui servent à calculer les valeurs de la poussée Q et du moment L au joint de naissance sont d'une application laborieuse, ainsi que nous l'avons fait remarquer à la fin de la première partie de notre mémoire n° 22, 2e semestre de 1872. Les calculs seraient très-simplifiés, si l'on supposait l'épaisseur de la voûte constante. Les formules relatives à cette hypothèse pourraient s'appliquer très-approximativement au cas d'une voûte dont l'épaisseur irait en croissant de la clef aux naissances. On remplacerait, en effet, la voûte donnée, par une voûte dont l'épaisseur constante serait la moyenne des épaisseurs de cette

(*) En admettant à l'insertion ce mémoire, qui fait suite à un autre publié en 1872 (2e sem., p. 42), la commission des *Annales* a cru devoir formuler explicitement quelques réserves. L'application à des voûtes en maçonnerie de formules établies pour des arcs métalliques est, à ses yeux, un procédé d'une justesse très-contestable et qui serait d'ailleurs d'un usage plus pénible que les méthodes graphiques habituellement employées. En outre, elle ne pense pas qu'on puisse admettre un projet de voûte dans lequel la pression atteint les deux tiers de la pression d'écrasement instantané des matériaux. E. M.

dernière, et où les autres données resteraient les mêmes. L'effort maximum que l'on obtiendrait ainsi, pour la seconde voûte, pourrait être considéré comme la limite supérieure de l'effort développé dans la première, où les conditions de stabilité sont évidemment plus favorables que dans l'autre.

Nous avons déjà donné, page 71, les valeurs de ρ_0, ρ_1 etc., σ_0, σ_1 etc., dans le cas simplifié dont nous nous occupons. Il faut introduire ces valeurs dans les expressions (28) de Q et L, n° 10, (33) de m_0 et m_1 et (36) de Z_1. Ces trois dernières doivent être substituées à leur tour dans celles de Q et L.

Les coefficients constants qui entrent dans Z' et M', a, b, c (n° 11), sont légèrement modifiés dans la nouvelle hypothèse. Reportons-nous à ce numéro et à la *fig.* 13, qui s'y rapporte. Le poids de l'élément de voûte, K'hlL', est constant et égal à $2\,pred\omega'$. L'équation 29 sera donc simplement :

$$dZ' = [2pre + p'r(h + - r\cos\omega')\cos\omega']d\omega'.$$

Les valeurs de a, b, c, sont alors les suivantes :

$$(A)\quad a = 2pre,\qquad b = p'r(h+r),\qquad c = -p'r^2.$$

Reproduisons ici les formules rappelées ci-dessus :

$$(28)\quad \begin{cases} Q = \dfrac{\rho_0 m_1 - \rho_1 m_0 + \left[\left(\dfrac{\varepsilon}{\gamma} - 1\right) Z_1 - 2\varepsilon\tau \sin\alpha\right]\dfrac{\rho_0}{r^2}}{\rho_0\rho_2 - \rho_1^2 + \left[\dfrac{\varepsilon}{\gamma}\sigma_0 - \left(\dfrac{\varepsilon}{\gamma} - 1\right)\sigma_2\right]\dfrac{\rho_0}{r^2}}, \\ L = -Pr\sin\alpha - Qr\cos\alpha + Qr\dfrac{\rho_1}{\rho_0} - \dfrac{rm_0}{\rho_0}. \end{cases}$$

$$(33)\quad \begin{cases} m_0 = d\rho_0 + \left(a + \dfrac{c}{2}\right)\rho_1 - \dfrac{b}{2}\rho_2 - \dfrac{c}{6}\rho_3 + \left(a + \dfrac{c}{2}\right)\rho_5, \\ m_1 = d\rho_1 + \left(a + \dfrac{c}{2}\right)\rho_2 - \dfrac{b}{2}\rho_3 - \dfrac{c}{6}\rho_4 + \left(a + \dfrac{c}{2}\right)\rho_6, \end{cases}$$

dans lesquelles :

$$d = b - a \cos \alpha - \frac{b}{2} \cos^2 \alpha - \frac{c}{3} \cos^3 \alpha.$$

$$(36) \quad Z_e = -\left(a + \frac{c}{2}\right)\sigma_5 - b(\sigma_1 - \sigma_3) - \frac{e}{2}(\sigma_2 - \sigma_4).$$

$$\rho\rho_0 = \sigma\sigma_0 = 2\alpha,$$
$$\rho\rho_1 = \sigma\sigma_1 = 2 \sin \alpha,$$
$$\rho\rho_2 = \sigma\sigma_2 = \alpha + \sin \alpha \cos \alpha,$$
$$\rho\rho_3 = \sigma\sigma_3 = \frac{2}{3} \sin \alpha (\cos^2 \alpha + 2),$$
$$\rho\rho_4 = \sigma\sigma_4 = \frac{1}{4} [3\alpha + \sin \alpha \cos \alpha (2 \cos^2 \alpha + 3)],$$
$$\rho\rho_5 = 2 (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha),$$
$$\rho\rho_6 = \sigma\sigma_5 = \frac{\sin 2\alpha}{4} - \frac{\alpha \cos 2\alpha}{2},$$

dans lesquelles :

$$p = \frac{2}{3} e^3, \quad \sigma = 2e.$$

Ajoutons-y :

$$P = -a\alpha - b \sin \alpha - c \frac{\alpha + \sin \alpha \cos \alpha}{2},$$

et faisons l'application de ces formules à une arche de pont en arc de cercle de 25 mètres de corde, $4^m,20$ de flèche, $1^m,10$ d'épaisseur à la clef, $1^m,50$ d'épaisseur aux naissances et de $0^m,50$ de hauteur de massif de surcharge au-dessus du sommet de l'extrados. Dans cette voûte la demi-somme des épaisseurs extrêmes est $1^m,30$, l'épaisseur moyenne est $1^m,227$ et l'épaisseur au milieu de la demi-voûte est $1^m,21$.

Nous appliquerons les calculs à cette dernière épaisseur. Le rayon r de l'arc moyen et l'angle α, correspondant à la moitié de cet arc, sont donnés par les équations :

$$\text{tang} \frac{\alpha}{2} = \frac{f}{l}, \quad r = \frac{l}{\sin \alpha}$$

(voir formule (1), § 1er, du mémoire cité),

dans lesquelles :

$$f = 4{,}20, \qquad l = 12^m{,}50.$$

On en tire :

$$\alpha = 37^\circ\, 8'\, 40'',92 \qquad \text{et} \qquad r = 20^m{,}701.$$

Faisons :

$$p = p' = 2.000 \text{ kilog.}$$

Dans les équations (A) nous en déduirons :

$$a = 50.000, \qquad b = 878.000, \qquad c = -857.000,$$

d'où

$$P = -78.535 \text{ kilog.} \qquad \text{et} \qquad d = 703.890 \text{ kilog.}$$

Calculons ensuite $\rho_0\ \rho_1$ etc..., avec cinq décimales, et nous trouverons :

$$\rho\rho_0 = \sigma\sigma_0 = 1{,}29660 = \rho'_0 = \sigma'_0,$$
$$\rho\rho_1 = \sigma\sigma_1 = 1{,}20766 = \rho'_1 = \sigma'_1,$$
$$\rho\rho_2 = \sigma\sigma_2 = 1{,}12962 = \rho'_2 = \sigma'_2,$$
$$\rho\rho_3 = \sigma\sigma_3 = 1{,}06088 = \rho'_3 = \sigma'_3,$$
$$\rho\rho_4 = \sigma\sigma_4 = 1{,}00013 = \rho'_4 = \sigma'_4,$$
$$\rho\rho_5 = 0.17412 = \rho'_5,$$
$$\rho\rho_6 = \sigma\sigma_5 = 0{,}15289 = \rho'_6 = \sigma'_5.$$

Multiplions les deux termes de la fraction qui représente la valeur de Q par ρ^2, et remplaçons-y, ρ_0, σ_0, m_0, etc., par $\frac{\rho'_0}{\rho}, \frac{\sigma'_0}{\sigma}, \frac{m'_0}{\rho}$, etc..., il viendra, en faisant $\tau = 0$ et $\frac{e}{\gamma} = 3$:

$$Q = \frac{\rho'_0 m'_1 - \rho'_1 m'_0 + 2L'_0 \frac{\rho'_0}{r^2} \cdot \frac{\rho}{\sigma}}{\rho'_0 \rho'_2 - \rho'^2_1 + (3\sigma'_0 - 2\sigma'_2)\frac{\rho'_0}{r^2} \cdot \frac{\rho}{\sigma}},$$

dans laquelle $\frac{\rho}{\sigma} = \frac{e^2}{3}$.

Il faut calculer maintenant m'_0 donné par la formule :

$$m'_0 = d\rho'_0 + a(\rho'_1 + \rho'_5) - \frac{b}{2}\rho'^2 + c\left(\frac{\rho'_1 + \rho'_3}{2} - \frac{\rho'_3}{6}\right);$$

Calculant les nombres avec cinq décimales, on trouve:

$$m'_0 = 45.284.$$

La valeur de m' est donnée par la formule :

$$m'_1 = d\rho'_1 + a(\rho'_2 + \rho'_6) - \frac{b}{2}\rho'_3 + c\left(\frac{\rho'_2 + \rho'_6}{2} - \frac{\rho'_4}{6}\right)$$

qui conduit à:

$$m'_1 = 41.771.$$

Calculant, toujours avec cinq décimales, le binôme du numérateur de Q, on trouve:

$$\rho'_0 m'_1 - \rho'_1 m'_0 = -529.$$

Le binôme $\rho'_0\ \rho'_2 - \rho'^2$ du dénominateur est égal à 0,0061. Les autres parties des deux termes de Q ont peu d'importance à cause du coefficient $\frac{l^2}{r^2}$ dont elles sont affectées. En effet, après avoir calculé $Z's$, par la formule:

$$Z'_4 = -a\sigma'_5 - b(\sigma'_1 - \sigma'_3) - \frac{c}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_5 - \sigma'_4) = -6.459,$$

on trouve pour la partie entière du numérateur:

$$2Z'_4 . \frac{\rho'_0}{3} . \frac{e^2}{r^2} = -4.7,$$

et pour la partie du dénominateur:

$$(3\sigma'_0 - 2\sigma'_2) . \frac{\rho'_0}{3} . \frac{e^2}{r^2} = 0,0006.$$

Si l'on négligeait la partie du numérateur, on commettrait une erreur d'un centième seulement. En négligeant celle du dénominateur, l'erreur serait d'un dixième. Il convient donc de ne pas négliger cette dernière. Nous avons été conduit à la même conséquence dans l'application numérique du mémoire de 1872.

En ne négligeant rien, on trouve :

$$Q = -79.600 \text{ kilog.}$$

Passons maintenant à la détermination de L.

En calculant toujours par logarithmes, avec cinq décimales, à l'aide de la formule :

$$L = -r\left(P \sin\alpha + Q \cos\alpha - Q\frac{\rho'_1}{\rho'_0} + \frac{m'_0}{\rho'_0}\right),$$

on trouve :

$$L = -31.692.$$

Il faut se reporter, à présent, au n° 14 du mémoire, pour appliquer les équations (41) qui feront connaître les quantités X, Z et M à introduire dans les valeurs de R et R' équations (2) du n° 3. On se rappelle que ces valeurs sont les efforts de pression ou de tension par mètre carré des sections normales, suivant deux directions, perpendiculaires et parallèles aux plans de ces sections. Les quantités X et M serviront, en même temps, à déterminer la distance $Z = -\frac{M}{X}$, du point d'application de la résultante des actions élémentaires à la fibre moyenne. Le lieu géométrique de ces points est ce qu'on appelle la courbe des pressions.

Nous partagerons la demi-voûte en 6 parties par cinq plans de section normale, faisant avec celui de la clef des angles formant une progression arithmétique dont la raison soit 6°. En y comprenant les sections extrêmes, nous aurons donc à considérer sept sections déterminées par les angles suivants :

$$\omega_0 = 0°,\quad \omega_1 = 6°,\quad \omega_2 = 12°,\quad \omega_3 = 18°,$$
$$\omega_4 = 24°,\quad \omega_5 = 30°,\quad \omega_6 = 37° 8' 41''.$$

Les calculs indiqués par les formules (41) s'effectueront à l'aide des tables de logarithmes en se bornant à cinq

décimales. Ces calculs sont contenus dans les tableaux ci-joints :

Les colonnes 23 et 24 font connaître les pressions ou tensions, à l'extrados et à l'intrados dans les sept sections normales considérées. Il existe une tension à l'extrados aux naissances de $3^k,83$ par centimètre carré. Cette tension va en décroissant vers la clef, et se change en une pression à une petite distance du joint de naissance. Nous n'avons pas calculé les efforts tranchants R' donnés par la seconde des équations (2) du mémoire. Ils sont sans importance.

La colonne 20 donne les distances de la courbe des pressions de l'arc moyen. Nous avons rapporté cette courbe sur le dessin ci-joint.

La méthode simplifiée que nous venons d'exposer suffira généralement, dans la plupart des cas, pour résoudre le problème de la stabilité des voûtes avec une suffisante approximation.

Toutefois, la dispositions qui consiste à extradosser non parallèlement, afin d'augmenter les épaisseurs à la clef, présente, pour augmenter la stabilité, un avantage dont on ne se rend pas compte par cette méthode. C'est regrettable au point de vue de l'économie, puisque, s'il en était autrement, on pourrait profiter de cet avantage pour réduire l'épaisseur de la voûte. D'un autre côté, l'application des formules (37) du mémoire est presque impraticable par suite du travail considérable qu'elle exige ; nous le reconnaissons tout le premier. Mais en remplaçant la fonction de ω : $\frac{n - \cos\omega}{n - 1}l$, qui représente l'épaisseur variable de la demi-voûte par une fonction de la forme, $\frac{1}{\sqrt[3]{p - q\sin\omega}}$, les expressions différentielles des formules (37) perdront leur dénominateur $(n - \cos\omega)^2$ et leur numérateur sera multiplié par le binôme $p - q\sin\omega$, ce qui simplifiera considérablement les intégrations ainsi que leurs résultats.

Les coefficients p et q se détermineront par deux condi-ons. Ces deux conditions seront l'égalité des épaisseurs onnées par les deux fonctions à la clef et aux naissances. ous verrons d'ailleurs que les autres épaisseurs sont à ès-peu de chose près les mêmes suivant l'une ou l'autre nction, pour une même valeur de ω. Nous ferons bientôt e nouvelle application de notre théorie des voûtes, en nant compte des considérations précédentes (*).

Notre théorie des voûtes suppose, comme nous l'avons en commençant, *que la maçonnerie qui les compose est un itable monolithe homogène.* Elle n'est donc point irrépro-able, surtout lorsque les mortiers sont médiocres. Mais us ferons remarquer, qu'en ce qui concerne les ponts en *tal*, notre théorie est bien réellement irréprochable dans s les cas. Nous en ferons ultérieurement l'application ux ponts les plus importants qui aient été construits usqu'à ce jour, soit avec la fonte, soit avec le fer.

(*) Nous donnerons alors des tables qui permettront de calculer rès-rapidement les valeurs de P, Q et L.

NUMÉROS des sections.	ω en degrés.	ω en longueur de l'arc.	sinus 2ω	$\frac{\alpha + \sin\omega\cos\omega}{2}$	$a\,\omega$	$b \sin\omega$	$c\left(\frac{\omega+\sin\omega\cos\omega}{2}\right)$	P $a\,\omega + b\sin\omega + \text{etc.}$ $= -(P - Z')\,P_\omega$	$P_\omega \sin\omega$ $(P - Z')\sin\omega$	$Q \cos\omega$	X
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79600	79600
2	6	0,10472	0,20791	0,10433	5236	91776	89411	7601	794.5	79164	79958
3	12	0,20944	0,40674	0,20640	10472	182546	176890	16128	3353.2	77861	81214
4	18	0,31416	0,58779	0,30403	15708	271320	260550	26478	8182.1	75704	83886
5	24	0,41888	0,74314	0,39522	20944	357120	338700	39364	16011	72718	88729
6	30	0,52360	0.86603	0,47831	26180	439000	409920	55260	27630	68936	96566
7	37° 8' 41''	0,64830	0,96261	0,56481	32415	530160	484040	78535	47422	63451	110873

$a\cos\omega$	$\frac{b}{2}\cos^2\omega$	$\frac{c}{3}\cos^3\omega$	$(X-\text{etc.}) = \frac{M-L}{r}$	$(X-\text{etc.})\frac{\alpha}{\omega}$	$r(X-\text{etc.})$	M $L = 31700$	$-\frac{M}{X} = Z$	$\frac{X}{\sigma}$ $\sigma = 1,21$	$\frac{Mv}{\rho}$ $\frac{v}{\rho} = 4,09$	R à l'intrados par centimètre carré.	R à l'extrados par centimètre carré.
13	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
								K par centim. carré.	Signe supérieur intrados. Id. inférieur extrados.	kil.	
50000	430000	283667	282933	— 2050	42400	— 10700	— 0,134	— 6,5800	∓ 43750	— 2,21	— 10,95
49725	434200	281000	282883	— 2100	43500	— 11800	— 0,147	— 6,6000	∓ 48200	— 1,78	— 11,42
48907	420020	267350	282791	— 2192	45400	— 13700	— 0,169	— 6,7000	∓ 56000	— 1,10	— 12,30
47553	397080	245740	282779	— 2201	45600	— 13900	— 0,166	— 6,9300	∓ 56800	— 1,25	— 12,61
45667	366370	217800	282966	— 2017	41800	— 10100	— 0,114	— 7,3400	∓ 41300	— 3,21	— 11,47
43301	329250	185550	283567	— 1416	28300	+ 3400	+ 0,035	— 7,9800	± 13900	— 6,50	— 9,37
[illegible]	278940	144086	[illegible]	0	0	+ 31700	+ 0,280	— 9,1700	± 130000	— 22,17	+ [illegible]

SECONDE PARTIE.

17. Nous avons indiqué, à la fin du numéro précédent, une méthode de simplification des intégrales, $\int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\omega \cos^n \omega}{\rho}$, qui consisterait, à exprimer l'épaisseur E de la demi-voûte, par une fonction de la forme, $E = \frac{1}{\sqrt[3]{p + q \sin \omega}}$. On aurait ainsi : $\rho = \frac{2}{3(p + q \sin \omega)}$, et l'on n'aurait qu'à effectuer les intégrales :

$$\int_{-\alpha}^{\alpha} d\omega \cos^n \omega, \quad \int_{-\alpha}^{\alpha} d\omega \sin \omega \cos^n \omega.$$

Cet artifice de calcul n'est applicable qu'à la condition de changer le signe de q pour les demi-épaisseurs correspondant à deux points symétriques, puisque le signe de $\sin \omega$ est différent pour ces deux points, et que cependant E doit y conserver la même valeur. Au lieu d'une seule intégrale, $d\omega \sin \omega \cos^n \omega$, qui est égale à $\frac{1}{n+1}[\cos^{n+1}(-\alpha) - \cos^{n+1} \alpha]$ ou à zéro, on aurait donc les deux intégrales $+\int_{-\alpha}^{0} d\omega \sin \omega \cos^n \omega$ et $-\int_{0}^{\alpha} d\omega \sin \omega \cos^n \omega$, dont la somme serait égale à $\frac{2(\cos^{n+1} \alpha - 1)}{n+1}$. On peut s'assurer d'ailleurs, que les deux fonctions, $\frac{1}{\sqrt[3]{p + q \sin \omega}}$, et $a + b \cos \omega$, prennent des valeurs très-peu différentes, pour une même valeur de ω, lorsque les valeurs extrêmes correspondant à la clef et aux naissances ont un rapport compris entre 1 et 1,5.

Mais il convient de renoncer à ce procédé de simplification, dans le cas où ce rapport dépasse 1,5, et surtout 2,

ou un plus grand nombre. Mais dans ces cas encore, nos formules de la stabilité des voûtes sont susceptibles de simplifications importantes que nous allons faire connaître.

D'abord il sera toujours possible de faire $c = 0$, et de représenter, ainsi, l'élément du poids de voûte et du massif de surcharge, par l'expression, $dZ' = (a + b \cos \omega)\ d\omega$. n° 11. En effet, cet élément peut être représenté par la surface ABCD (*fig.* 16, Pl. 5), comprise entre les deux rayons OD, OC de l'arc moyen, faisant entre eux l'angle $d\omega$. Soit MN l'élément de l'arc moyen, compris entre les deux sections, AD, CB.

La surface ABCD est égale à AD $\times$ MN. La distance MN est prise, pour simplifier, à la place de la distance des milieux de AD et BC. Il ne faut pas perdre de vue que les équations générales de la résistance des matériaux s'appliquent à des solides, dont les dimensions transversales et la courbure sont petites, par rapport à leur longueur, et l'on y néglige les différences de l'ordre dont il s'agit ici. Ces différences seront d'autant plus petites, que les voûtes seront plus surbaissées.

$$\text{AD est égal à AM} + \text{MD}, \quad \text{AM} = \varepsilon, \quad \text{MD} = \text{OD} - r,$$

$$\text{OD} = \frac{\text{OH}}{\cos \omega}, \quad \text{OH} = \text{OK} + \text{KH} = r + e + h,$$

d'où :

$$\text{AD} = \varepsilon + \frac{r+e+h}{\cos \omega} - r, \quad \text{et} \quad \text{ABCD} = \left(\varepsilon + \frac{r+e+h}{\cos \omega} - r\right) r\,d\omega.$$

Je dis que l'on peut substituer un binôme de la forme, $(a + b \cos \omega)$, $d\omega$ à l'expression précédente (*). Lorsque ω est petit, on a, sans erreur sensible, $\frac{1}{\cos \omega} = 2 - \cos \omega$, ce que l'on reconnaît en développant en série les deux

(*) ε est de la forme $a + b \cos \omega$.

membres de cette égalité. Mais l'emploi de la fonction, $a + b \cos \omega$, est toujours admissible, quand il s'agit de représenter la valeur de la partie AD du rayon OD (*fig.* 16).

En effet, déterminons les coefficients a et b, de manière que le binôme $a + b \cos \omega$, prenne les valeurs EH, FG, pour les deux valeurs, o et α de ω. On aura, pour calculer a et b, les deux équations :

$$a + b = \overline{EH} = E,$$

$$a + b \cos \alpha = \overline{FG} = E',$$

d'où $$a = E + \frac{E' - E}{1 - \cos \alpha}, \quad b = - \frac{E' - E}{1 - \cos \alpha}.$$

Les valeurs extrêmes de la fonction, $a + b \cos \omega$, pour $\omega = o$, et $\omega = \alpha$, coïncideront avec celles de la fonction exacte, et il est facile de voir, par quelques exemples, que les valeurs intermédiaires de ces deux fonctions seront très-peu différentes, dans tous les cas de la pratique. Il sera donc permis de faire usage de la formule, $dZ = (a + b \cos \omega)\, d\omega$, avec d'autant plus de raison, que l'hypothèse d'après laquelle on sépare, par des plans verticaux, le massif de surcharge, en éléments dont les poids sont appliqués aux divers éléments de voûte, conduit, peut-être, à une formule moins exacte que la précédente. Cependant, l'exactitude de cette formule permet de résoudre le problème de la stabilité des voûtes, avec une suffisante approximation. On substituera donc la formule ci-dessus, au trinôme dont nous avons fait usage précédemment, en faisant, $c = o$, dans les formules (30) à (36) des n°s 11 et 12. L'intégrale ω_4, disparaît alors entièrement et elle peut être supprimée du tableau des formules 37. Mais ce tableau comporte deux simplifications beaucoup plus importantes encore. Multiplions tout par le facteur, $\frac{(n^2 - 1)^{\frac{5}{2}}}{4}$, et désignons toujours par ω_0, ω_1, etc., les produits par ce fac-

teur, des quantité représentées auparavant par ces mêmes notations.

Dans la plupart des cas, n est égal à l'unité augmentée d'une petite quantité. Cette observation nous conduit à remplacer n par $1+n$. Ordonnons, suivant les puissances croissantes de n, de manière à former une suite de termes généralement très-convergente.

Cela fait, formons les différences successives

$$\Delta=\omega_0-\omega_1,\qquad \Delta'=\omega_0-\omega_1-(\omega_1-\omega_2),$$
$$\Delta''=\omega_0-\omega_1-2(\omega_1-\omega_2)+\omega_2-\omega_3,$$

et nous obtiendrons le tableau suivant:

$$\omega_0=\frac{3}{2}(\alpha_0+\alpha_1)+\alpha_2+2(\alpha_0+\alpha_1)n+\alpha_0 n^2.$$

$$\Delta=\omega_0-\omega_1=\left(\frac{\alpha_0+\alpha_1}{2}-\alpha_2\right)n+(\alpha_0-\alpha_1)n^2,$$

$$\Delta'=\omega_0-\omega_1-(\omega_1-\omega_2)=\left[\frac{3}{2}(\alpha_0-\alpha_1)-(\alpha_1-\alpha_2)\right]n^2,$$

$$\Delta''=-\left(\frac{15}{2}\alpha_0-\frac{9}{2}\alpha_1+\alpha_2\right)n^3+\frac{\alpha}{2}(2n+n^2)^{\frac{5}{2}}-(5\alpha_0-\alpha_1)n^4-\alpha_0 n^5.$$

$$\omega_5=(\alpha_0+\alpha_1)n+\left(\frac{3}{2}\alpha_0+\frac{\alpha_1}{2}\right)n^2+\frac{\alpha_0}{2}n^3-\frac{(2n+n^2)^{\frac{5}{2}}.\alpha}{(2n+2-2\cos\alpha)^2},$$

$$\Delta_5=\omega_5-\omega_6=(3\alpha_0-\alpha_1)n^2+\left(\frac{5}{1}\alpha_0-\frac{\alpha_1}{2}\right)n^3+\frac{\alpha_0}{2}n^4-$$
$$-\frac{(2n+n^2)^{\frac{5}{2}}\alpha}{(2n+2-2\cos\alpha)^2}(n+2-2\cos\alpha).$$

Dans ces formules, α_0, α_1 et α_2, sont exprimées par les égalités suivantes:

$$\alpha_0=\varphi,\qquad \alpha_1=\sin\varphi\cos\varphi,\qquad \alpha_2=\sin\varphi\cos^3\varphi,$$

tang ρ, étant égal à $\sqrt{1+\frac{2}{n}}\tang\frac{\alpha}{2}$ (voir page 61, n° 12,

et ne pas oublier que nous avons remplacé n par $1+n$).
Posons, comme à la page 63, n° 13,

$$\delta_0 = \omega_2 - \frac{\omega_1^2}{\omega_0}, \quad \delta_1 = \omega_3 - \frac{\omega_2 \omega_1}{\omega_0}, \quad \delta_2 = \omega_6 - \frac{\omega_5 \omega_1}{\omega_0},$$

et la valeur (39) de Q pourra s'écrire en faisant $\tau = 0$:

$$Q = \frac{a(\delta_0 + \delta_2) - \frac{b}{2}\delta_1 + 2\zeta \frac{e_0}{e_1 r^2}}{\delta_0 + (3\varphi_0 - 2\varphi_2)\frac{e^0}{e_1 r^2}},$$

dans laquelle

$$\zeta = -a\varphi_5 - b(\varphi_1 - \varphi_3).$$

Quant aux valeurs de φ_0, φ_1, φ_2, φ_3 et φ_5 qui entrent dans cette équation, ce sont celles du tableau des formules (37), multipliées par le facteur $\frac{(2n+n^2)^{\frac{5}{2}}}{4}$. Les termes qui contiennent ces quantités sont petits, par rapport aux autres, et l'on peut les simplifier, en négligeant $2(\varphi_0 - \varphi_2)$, qui est petit par rapport à φ_0. $3\varphi_0 - 2\varphi_2$ se réduit alors à φ_0. On a d'ailleurs (formules 57, modifiées comme ci-dessus) :

$$\varphi_0 = \alpha_0(2n + n^2)^2, \qquad \frac{e_0}{e_1} = \frac{1}{3}\frac{e^2}{n^2},$$

voir les valeurs de e_0 et e, page 36, n° 12.

Négligeons n^2 par rapport à $2n$ et il restera :

$$(3\varphi_0 - 2\varphi_2)\frac{e_0}{e_1 r^2} = \frac{4}{3}\alpha_0 \frac{e^2}{r^2}.$$

Dans les arcs surbaissés, φ_5 diffère peu de $2(\varphi_1 - \varphi_2)$. En effet, $\omega \sin \omega$ diffère peu de ω^2 ou de $2(1 - \cos \omega)$, et si l'on met cette dernière valeur à la place de $\omega \sin \omega$ dans l'intégrale,

$$\varphi_5 = \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{\omega \sin \omega \cos \omega d\omega}{n - \cos \omega},$$

on aura :

$$\varphi_0 = 2\int_{-\alpha}^{\alpha}\frac{\cos\omega d\omega}{n-\cos\omega} - 2\int_{-\alpha}^{\alpha}\frac{\cos^2\omega d\omega}{n-\cos\omega} = 2(\varphi_1-\varphi_2).$$

Introduisons ces simplifications dans l'expression de Q, nous aurons :

$$Q = \frac{a(\delta_0+\delta_3) - \frac{b}{2}\,\delta_1 + \frac{2\zeta}{3n^2}\frac{e^2}{r^2}}{\delta_0 + \frac{4}{3}\alpha_0\frac{e^2}{r^2}},$$

dans laquelle

$$\zeta = 2a(\varphi_1-\varphi_2) - b(\varphi_1-\varphi_3),$$

les valeurs de φ_1 φ_2 φ_3 étant données par le tableau suivant :

$$\varphi_1 = (1+n)\varphi_0 - \alpha\,\frac{(2n+n^2)^{\frac{5}{2}}}{2},$$

$$\varphi_2 = (1+n)\varphi_1 - \sin\alpha\,\frac{(2n+n^2)^{\frac{5}{2}}}{2},$$

$$\varphi_3 = (1+n)\varphi_2 - (\alpha+\sin\alpha\cos\alpha)\,\frac{(2n+n^2)^{\frac{5}{2}}}{4}.$$

18. *Calcul des différences* δ_0 δ_1 et δ_3. — La différence $\delta_0 = \omega_2 - \omega_1\,\frac{\omega_1}{\omega_0}$ peut se mettre sous la forme

$$\delta_0 = \omega_0 - \omega_1 - (\omega_1-\omega_2) - \frac{(\omega_0-\omega_1)^2}{\omega_0}.$$

La différence $\delta_1 = \omega_6 - \omega_2\,\frac{\omega_1}{\omega_0}$ peut se mettre sous celle de:

$$\delta_1 = \omega_0 - \omega_1 - (\omega_2-\omega_3) - \frac{(\omega_0-\omega_1)(\omega_0-\omega_2)}{\omega_0}.$$

La différence $\delta_3 = \omega_0 - \omega_5\,\frac{\omega_1}{\omega_0}$ peut se mettre sous la forme de :

$$\delta_3 = \omega_5\,\frac{\omega_0-\omega_1}{\omega_0} - (\omega_5-\omega_6).$$

Employant la notation Δ pour les diverses différences premières et secondes des égalités précédentes, il viendra :

$$\delta_0 = \Delta' - \frac{\Delta^2}{\omega_0},$$

$$\delta_1 = \Delta' + \Delta'_2 - \frac{\Delta(\Delta + \Delta_2)}{\omega_0},$$

ou en remplaçant dans cette dernière

(*) Δ'_2 par $\Delta' - \Delta''$ et Δ_2 par $\Delta - \Delta'_2$, $\delta_1 = 2\delta_0 - \left(\Delta'' - \frac{\Delta\Delta'}{\omega_0}\right)$,

il vient ensuite :

$$\delta_3 = -\Delta_3 + \frac{\Delta\omega_3}{\omega_0}.$$

Dans les voûtes surbaissées ω_6 diffère peu de $2(\omega_0 - \omega_1)$. On le reconnaît par un raisonnement analogue à celui qui nous a conduit à l'égalité $\varphi_3 = 2(\varphi_1 - \varphi_2)$; on verrait de même que $\omega_3 - \omega_6$ diffère peu de $2(\omega_0 - \omega_1) - 2(\omega_1 - \omega_2)$, donc δ_3 diffère peu de $-2\Delta' + \frac{2\Delta^2}{\omega_0}$. D'un autre côté, Δ_2 et Δ'_2 diffèrent peu de Δ et Δ'.

Ainsi, dans les voûtes surbaissées, δ_1 est, à très-peu de chose près, le double de δ_0 et δ_3 égal à δ_1 et de signe contraire.

Les formules précédentes sont maintenant d'une application assez rapide, comme nous le verrons bientôt par un exemple.

19. *Calcul de* L. — La valeur de L est donnée par la formule :

$$\frac{1}{r} L = P \sin\alpha + Q\left(\frac{\omega_1}{\omega_0} - \cos\alpha\right) - \frac{\mu_0}{\omega_0}$$

dans laquelle

$$\frac{\mu_0}{\omega_0} = a\left(\frac{\omega_1}{\omega_0} - \cos\alpha + \frac{\omega_5}{\omega_0}\right) + \frac{b}{2}\left(2 - \cos^2\alpha - \frac{\omega_2}{\omega_0}\right).$$

(*) Δ'_2 désigne la différence : $\omega_1 - \omega_2 - (\omega_2 - \omega_3)$, et Δ_2 : $\omega_1 - \omega_2$.

Cette dernière égalité s'obtient en remplaçant dans la première équation (38) d par sa valeur $d = b - a\cos\alpha - \frac{b}{2}\cos^2\alpha$.

Mettons $1 - \frac{\Delta}{\omega_0}$ au lieu de $\frac{\omega_1}{\omega_0}$ et $1 - \frac{2\Delta - \Delta'}{\omega_0}$ au lieu de $\frac{\omega_2}{\omega_0}$ et nous aurons :

$$\frac{\mu_0}{\omega_0} = a(1 - \cos\alpha) + \frac{b}{2}(1 - \cos^2\alpha) + a\,\frac{\omega_1 - \Delta}{\omega_0} + b\,\frac{2\Delta - \Delta'}{\omega_0},$$

P, Q et L étant connus, on les introduira dans les équations (41), page 65.

Ces équations contiennent des fonctions de ω qui ont une signification simple.

Ainsi, le binôme $a\omega + b\sin\omega$ représente le poids de la partie de voûte et de massif de surcharge comprise entre la section à la clef et la section inclinée de ω sur la première, ainsi qu'on le reconnaît en intégrant dZ' de o à ω. Nous le désignerons par Z'. Le moment de ce même poids par rapport à la verticale du sommet de la voûte est égal à l'intégrale

$$\int_0^\omega dZ' r \sin\omega \quad \text{ou à} \quad r[a(1 - \cos\omega)] + \frac{b}{2}(1 - \cos^2\omega).$$

Nous le désignerons par M'_ω. Introduisant ces deux notations dans les formules (41), nous aurons :

$$X = Q\cos\omega - Z'\sin\omega,$$
$$Z = -Q\sin\omega - Z'\cos\omega,$$
$$M = L + r(X_\alpha - X_\omega) + M'_\alpha - M'_\omega.$$

On pourra se borner généralement à calculer les valeurs de ces trois quantités correspondant à la clef et aux naissances. A la clef on fera $\omega = 0$ et l'on aura Z'_0 et M'_0 étant égaux à zéro :

$$X_0 = Q,$$
$$Z_0 = 0,$$
$$M_0 = L + r(X_\alpha - Q) + M'_\alpha.$$

Aux naissances, Z'_α étant égal à — P, on aura :

$$X_\alpha = Q \cos \alpha + P \sin \alpha,$$

$$Z_\alpha = -Q \sin \alpha + P \cos \alpha,$$

$$M_\alpha = L.$$

Les efforts par centimètre carré seront alors (formule 2, page 44) :

$$\left.\begin{aligned} R_0 \text{ à l'intrados} &= \frac{Q}{2e} - \frac{M_0}{\frac{2}{3}e^2} \\ R_0 \text{ à l'extrados} &= \frac{Q}{2e} + \frac{M^0}{\frac{2}{3}e^2} \end{aligned}\right\} \quad R'_0 = \frac{Z_0}{2e},$$

$$\left.\begin{aligned} R_\alpha \text{ à l'intrados} &= \frac{X_\alpha}{2e'} - \frac{L}{\frac{2}{3}e'^2} \\ R_\alpha \text{ à l'extrados} &= \frac{X_\alpha}{2e'} + \frac{L}{\frac{2}{3}e'^2} \end{aligned}\right\} \quad R'_\alpha = \frac{Z_\alpha}{2e}.$$

Enfin les points d'application de la résultante des actions élémentaires exercées sur les joints de la clef et des naissances, points par lesquels passe la courbe des pressions, seront donnés par les égalités suivantes :

$$z_0 = -\frac{M_0}{Q},$$

$$z_\alpha = -\frac{L}{X_\alpha}.$$

20. *Application.* — Appliquons ces formules à une voûte en maçonnerie de 152 mètres d'ouverture et de $12^m,30$ de flèche. $2l = 152$ $f = 12^m,30$.

Prenons $e = 1^m,60$ et $e' = 2^m,00$.

Calcul de α, *de* n *et de* r. — L'angle α et le nombre n sont donnés par les formules :

$$(1) \qquad \tang\frac{\alpha}{2} = \frac{f-(e'-e)}{l}, \qquad n = \frac{1-\cos\alpha}{\frac{e'}{e}-1},$$

d'où $$\alpha = 16°,54', \qquad n = 0,04319.$$

Afin de simplifier les calculs, nous ferons $n = 0,04$ sans changer les valeurs de f, l et e. La correction devra donc porter sur e' et sur α qui différeront un peu des valeurs précédentes. Pour effectuer cette correction, il faut résoudre les équations (1) qui précèdent en prenant α et e' pour inconnues. On éliminera e' et l'équation en α sera :

$$n\left(l\,\tang\frac{\alpha}{2} - f\right) + e(1-\cos\alpha) = 0.$$

On déterminera α sans tâtonnements par la méthode suivante, qui est d'une application très-générale, lorsqu'on connaît la valeur d'une inconnue avec une certaine approximation. Nous savons que α diffère peu de 16° 54'. Cette valeur mise dans le premier membre de l'équation précédente ne le rendra pas nul, mais très-petit, et comme les petits accroissements de cette fonction $d'\alpha$, sont proportionnels aux petits accroissements de la variable α, il sera aisé de calculer l'accroissement positif ou négatif de α qui annulera la fonction de α. Lorsque n est égal à 0,04319, la valeur 16°,54' annule le premier membre ; si n est pris égal à 0,04 après la substitution de 16°,54', il restera seulement du premier membre :

$$-0,00319\left(l\,\tang\frac{\alpha}{2} - f\right).$$

Désignons le premier membre par $f(\alpha)$, on aura donc :

$$f(16°,54') = -0,00319\,[(l\,\tang 8°\,27') - f].$$

L'accroissement $d\alpha$ qui annule le premier membre sera, d'ailleurs, donné par l'équation $f\alpha + f'\alpha\, d\alpha = 0$. α étant égal à 16° 54'. $f'\alpha$ dérivée de $f\alpha$ est égal à $\dfrac{nl}{2\cos^2\frac{\alpha}{2}} + e \sin \alpha$.

Il n'y a plus qu'à calculer numériquement ces expressions de $f\alpha$ et de $f'\alpha$.

$$f\alpha = -0{,}00322, \qquad f'\alpha = 1{,}8957,$$

d'où

$$d\alpha = -0{,}001697 \quad \text{ou} \quad 5'50''.$$

Ainsi l'angle α corrigé est 16° 48′ 10″ et par suite $e' = 2.067$. Le temps que nous avons ainsi employé à simplifier la valeur de n sera largement compensé par la rapidité qui en résultera pour le calcul de Q et de L. On trouve pour la valeur du rayon

$$r = \frac{l}{\sin \alpha} + e' = 260 \text{ mèt.}$$

21. *Calcul des valeurs de* a *et* b *qui entrent dans la formule*

$$dZ' = (a + b \cos \omega) d\omega.$$

La surcharge de notre voûte est équivalente à une hauteur de maçonnerie sur l'extrados de $0^m,30$ à la clef et de 2 mètres aux naissances. La hauteur totale de maçonnerie, y compris la voûte, est donc de $2^m,30$ à la clef et de $6^m,134$ aux naissances. Il faut donc faire

$$a + b = 2.300 \times 2.000^k \times r,$$

et

$$a + b \cos \alpha = 6.134 \times 2.000^k \times r,$$

d'où

$$a = 49.312.000 \text{ kilog.},$$

$$b = -48.079.200 \text{ kilog.}$$

$$(\alpha_0 + \alpha_1)n = 0{,}05245278$$
$$\left(\frac{3}{2}\alpha_0 + \frac{\alpha_1}{2}\right)n^2 = 0{,}00234830$$
$$\frac{\alpha_0}{2}n^3 \ldots = 0{,}00002599$$

$$\omega_5 + \frac{(2n+n^2)^{\frac{5}{2}}\alpha}{(2n+2-\cos\alpha)^2} = 0{,}05482707$$

$$\log\cos\alpha = \bar{1},9810505$$
$$\cos\alpha = 0{,}9573052$$
$$1 - \cos\alpha = 0{,}0426948$$
$$n + 1\cos\alpha = 0{,}0826948$$
$$2(n + 1 - \cos\alpha) = 0{,}1653896$$

$$\log(2n+n^2)^{\frac{5}{2}}\alpha = \bar{4},7464839$$
$$\log 4(n+1-\cos\alpha)^2 = \bar{2},4370164$$
$$\bar{2},3094675$$

$$\frac{\alpha(2n+n^2)^{\frac{5}{2}}}{4(n+1-\cos\alpha)^2} = 0{,}02039236$$
$$\omega_5 = 0{,}03443471$$

$$\log\omega_5 = \bar{2},5369964$$
$$\log\Delta^5 = \bar{2},2373567$$
$$\text{compl.}\log\omega_0 = \bar{1},6364749$$
$$\log\frac{\Delta\omega_5}{\omega_0} = \bar{4},4108280$$
$$\frac{\Delta\omega_5}{\omega_0} = 0{,}0002575302$$

$$\Delta_5 = (3\alpha_0 - \alpha_1)n^2 + \left(\frac{5}{2}\alpha_0 - \frac{\alpha_1}{2}\right)n^3 + \frac{\alpha_0}{2}n^4$$
$$- \frac{\alpha(2n+n^2)^{\frac{5}{2}}(n+2-2\cos\alpha)}{4(n+1-1\cos\alpha)^2}$$

$$(3\alpha_0 - \alpha_1)n^2 = 0{,}0030988 72$$
$$\left(\frac{5}{2}\alpha_0 - \frac{\alpha_1}{2}\right)n^3 = 0{,}000113947$$
$$\frac{\alpha_0}{2}n^4 = 0{,}000001039$$
$$\text{Total} = 0{,}0032138 58$$

$$\log\frac{\alpha(2n+n^2)^{\frac{5}{2}}}{4(1+n-\cos\alpha)^2} = \bar{2},3094675$$
$$\log(n+2-2\cos\alpha) = \bar{1},0982616$$
$$\bar{3},4077291$$

$$\frac{(n+2-2\cos\alpha)\alpha(2n+n^2)^{\frac{5}{2}}}{(2n+2-2\cos\alpha)^2} = 0{,}0025569$$

$$\Delta_5 = 0{,}00065686 7$$
$$\delta_3 = -0{,}000399537$$
$$\delta_0 + \delta_3 = -0{,}00019864 1$$

$$\log(-\delta_0 - \delta_3) = \bar{4},2980689$$
$$\log a = 7{,}6929526$$
$$\log[-a(\delta_0 - \delta_3)] = 3{,}9910215$$
$$a(\delta_0 + \delta_3) = -9795{,}384$$
$$\frac{1}{2}\delta_1 = 0{,}0001976297$$

$$\log\frac{1}{2}\delta_1 = \bar{4},2958522$$
$$\log(-b) = 7{,}6819572$$
$$\log\left(-\frac{1}{2}b\delta_1\right) = 3{,}9778094$$
$$\frac{1}{2}b\delta_1 = -9501{,}876$$
$$a(\delta_0 + \delta_3) - \frac{1}{2}b\delta_1 = -293{,}508$$

$$\frac{2\zeta}{3n^2}\cdot\frac{e^2}{r^2}$$
$$\frac{e^2}{r^2} = \frac{1}{(268)^2} = 0{,}0000139 2$$
$$\frac{2}{3n^2}\cdot\frac{e^2}{r^2} = 0{,}0058$$
$$\zeta = -2a(\varphi_1 - \varphi_2) - b(\varphi_1 - \varphi_2)$$
$$\varphi_1 = (1+n)\varphi_0 - \frac{1}{2}\alpha(2n+n^2)^{\frac{1}{2}}$$
$$\varphi_0 = \alpha_0(2n+n^2)^2$$

$$\varphi_0 = 0{,}00540$$
$$\varphi_1 = 0{,}00534$$
$$\varphi_2 = 0{,}00528$$
$$\varphi_3 = 0{,}00522$$
$$\varphi_2 = 0{,}00006 \qquad \varphi_1 - \varphi_3 = 0{,}00012$$
$$= -1479 \qquad \frac{2\zeta}{3n^2}\frac{e^2}{r^2} = -8{,}57$$
$$\frac{4}{3}\alpha_0\frac{e^2}{r^2} = 0{,}0000151$$
$$\delta_0 + \frac{4}{3}\alpha_0\frac{e^2}{r^2} = 0{,}0002158$$

$$a(\delta_0 + \delta_3) - \frac{b\delta_1}{2} + \frac{2\zeta}{3n^2}\frac{e^2}{r^2} = -302{,}078$$

$$Q = -\frac{302{,}078}{0{,}0002158}$$

$$\log 302{,}078 = 2{,}48012$$
$$\log 0{,}0002158 = \bar{4}{,}33405$$
$$\log(-Q) = 6{,}14607$$
$$Q = -1399800^{k}$$

22\. Avant de calculer la valeur de Q, on pouvait en obtenir *à priori* deux limites, l'une inférieure, l'autre supérieure :

Soit AB (*fig.* 18) le demi-arc moyen, CD et EF les demi-arcs d'intrados et d'extrados, KL l'arc limitant la surcharge, soit G le centre de gravité de la moitié de la construction. Le poids de cette moitié dirigé suivant GP est égal à P et son moment par rapport à la verticale à la clef égal à $M'\alpha$ est donné par l'équation :

$$\frac{1}{r}M'_\alpha = a(1 - \cos\alpha) + \frac{b}{2}(1 - \cos^2\alpha).$$

Soit M le point d'application dans la section à la clef de la résultante des actions élémentaires qui se produisent dans tous les points de cette section, N le point analogue dans la section des naissances, ce sont deux points de la courbe des pressions. La demi-voûte et sa surcharge sont en équilibre sous l'action de la force GP et des deux résultantes en M et N. Donc la somme des moments de la force GP et de la résultante en N pris par rapport au point M, doit être égale à zéro. Le moment de la force GP est M_α ; celui de la résultante en N est égal à $Pp - Qq$, p et q étant les projections horizontale et verticale de la droite MN. Le sens positif des moments est indiqué sur la figure par la flèche ab. On a donc l'équation :

$$M'_\alpha + Pp - Qq = 0,$$

d'où

$$Q = \frac{M'_\alpha + Pp}{q}.$$

Or, la valeur de q ne peut pas être inférieure à la différence de niveau des points C et F, ni supérieure à la différence de niveau des points E et D. En les désignant par q' et q'' et par p' Q', p'' Q'' les valeurs correspondantes de P et Q, on aura :

$$Q' = \frac{M'_\alpha + Pp'}{q'}, \quad \text{et} \quad Q'' = \frac{M'_\alpha + Pp''}{q''}.$$

Soit g la distance du point G à la verticale à la clef, on a :

$$M'_\alpha = -Pg, \quad \text{d'où} \quad Q' = P\frac{p'-g}{q'}, \quad Q'' = P\frac{p''-g}{q''};$$

$p' - g$ distance du point F à la force GP est un maximum tandis que q' est un minimum, donc $\frac{p'-g}{q'}$ est un maximum, de même $\frac{p''-g}{q''}$ est minimum. Donc Q' et Q'' sont les deux limites de Q.

Calcul de M_α.

$$\frac{1}{r} M'_\alpha = a(1 - \cos\alpha) + \frac{b}{2}(1 - \cos^2\alpha).$$

$\log \cos\alpha = \bar{1},9810505$

$\log a = 7,6929526$

$\log a \cos\alpha = 7,6740031$

$a \cos\alpha = 47206640$

$\log(-b) = 7,6819572$

$\log \cos^2\alpha = \bar{1},9621010$

$\log(-b\cos^2\alpha) = 7,6440582$

$b\cos^2\alpha = -44061390$

$\frac{1}{2} b\cos^2\alpha = -22030695$

$a\cos\alpha + \frac{b}{2}\cos^2\alpha = 25175945$

$a + \frac{b}{2} = 25272400$

$\frac{1}{r} M'_\alpha = 96455$

$M'_\alpha = 25849900^{\text{kgm}}$

$\frac{M'_\alpha}{P}$ = bras de levier de la force G[...] ou distance du point G à [...] verticale à la clef $= 45^{m},90$[...]

$q' = f - 2e' \cos\alpha = 8,34 \quad p' = l + 0$[...]

$Q' = \frac{76,60 - 45,90}{8,34} P = \frac{30,70}{8,34} P = 3,6$[...]

$Q' = 2070000$

$q'' = f + 2e = 14^{m},30$

$p'' = l - 0,60 = 75,40$

$Q'' = \frac{(75,40 - 45,90)\,P}{14,30} = \frac{25,50}{14,30}$ P[...]

$q'' = 1,785\,P = -1005000$

La valeur réelle de Q est inférie[...] la moyenne de ces deux valeurs. [...] en effet $\frac{Q' + Q''}{2} = -1537500^{k}$.

23. *Calcul de* L. — Avant de calculer L, nous allons en chercher deux limites par une méthode analogue à la précédente. Les forces P et Q appliquées au point N (*fig.* 18) étant transportées au centre B de la section donnent naissance au couple L, en sorte que la demi-construction est en équilibre sous l'action de la force PG de la résultante au point M, des forces P et Q appliquées au point B et du couple L. La somme des moments prise par rapport à un point quelconque est zéro.

Prenons le point M et nous aurons :

$$M'_\alpha + L + Pp_1 - Qq_1 = 0;$$

p_1 et q_1 étant les bras de levier de P et Q, c'est-à-dire les projections verticale et horizontale de la droite MB. On tire de cette équation :

$$L = Qq_1 - Pp_1 - M'_\alpha = Qq_1 - P(p_1 - g).$$

Ici le point B est fixe et p_1 est constant. Le point M peut se déplacer entre E et C et q_1, varier depuis la différence de niveau de B et C jusqu'à celle de B et E. La première est $q' = f - e' \cos\alpha$, et l'autre $q'' = f - e' \cos\alpha + 2e$.

Les limites L′ et L″ de L seront donc :

$$L' = Qq' - P(p_1 - g)$$

$$p_1 = 76$$

$$p_1 - g = 30,10$$

$$P(p_1 - g) = -1695000$$

$$q' = 10,32$$

$$Qq' = -1442000$$

$$L' = +2530000^{kgr}$$

$$L'' = Qq'' - P(p_1 - g)$$

$$q'' = 12,32$$

$$Qq'' = 17240000$$

$$L'' = -290000^{kgr}$$

Ainsi le moment du couple L est compris entre −290.000 kilogrammes et + 2.530.000 kilogrammes.

Calcul de L.

$$\frac{1}{r}\mathrm{L} = -\mathrm{P}\sin\alpha + \mathrm{Q}\left(1-\cos\alpha-\frac{\Delta}{\omega_0}\right)-\frac{\mu_0}{\omega_0},$$

$$\frac{\mu_0}{\omega_0} = a\left(1-\cos\alpha-\frac{\Delta}{\omega_0}+\frac{\omega_5}{\omega_0}\right)+$$
$$+\frac{b}{2}\left(1-\cos^2\alpha+\frac{2\Delta-\Delta'}{\omega_0}\right).$$

$$\frac{\mu_0}{\omega_0} = \frac{1}{r}\mathrm{M}'_\alpha + a\frac{\omega_5-\Delta}{\omega_0} + b\,\frac{\Delta-\frac{\Delta'}{2}}{\omega_0}.$$

$$\omega_5 = 0{,}03443471$$
$$\Delta = 0{,}01727256$$

$$\omega_5-\Delta = 0{,}01716215$$

$$\log(\omega_5-\Delta) = \bar{2}{,}2345717$$
$$\log a = 7{,}6929526$$
$$\text{compt. }\log\omega_0 = \bar{1}{,}6364749$$

$$\log a\,\frac{\omega_5-\Delta}{\omega_0} = 5{,}5639992$$

$$a\,\frac{\omega_5-\Delta}{\omega_0} = 366436{,}9$$

$$\Delta = 0{,}01727256$$
$$\frac{1}{2}\Delta' = 0{,}00016494$$

$$\Delta-\frac{1}{2}\Delta' = 0{,}01710762$$

$$\log\left(\Delta-\frac{1}{2}\Delta'\right) = \bar{2}{,}2331896$$
$$\log(-b) = 7{,}6819572$$
$$\text{comp}^{\text{t}}\log\omega_0 = \bar{1}{,}6364749$$

$$\log\left(-b\,\frac{\Delta-\frac{1}{2}\Delta'}{\omega_0}\right) = 5{,}5516217$$

$$b\,\frac{\Delta-\frac{1}{2}\Delta'}{\omega_0} = -356140{,}7$$

$$\frac{\mu_0}{\omega_0}-\frac{1}{2}\mathrm{M}'\alpha = 10296{,}2$$
$$\frac{1}{r}\mathrm{M}'\alpha = 96455{,}0$$

$$\frac{\mu^0}{\omega_0} = 106751{,}2$$

$$\log(-\mathrm{P}) = 5{,}7505209$$
$$\log\sin\alpha = \bar{1}{,}4610154$$

$$\log(-\mathrm{P}\sin\alpha) = 5{,}2115463$$
$$\mathrm{P}\sin\alpha = 162684{,}5$$

$$\log(-\mathrm{Q}) = 6{,}14607$$
$$\log\cos\alpha = \bar{1}{,}98105$$

$$\log(-\mathrm{Q}\cos\alpha) = 6{,}12712$$
$$+\mathrm{Q}\cos\alpha = -1340050$$
$$\mathrm{X}_\alpha = \mathrm{P}\sin\alpha+\mathrm{Q}\cos\alpha = -1502700$$
$$-\mathrm{X}_\alpha+\mathrm{Q} = +102900$$

$$\log\Delta = \bar{2}{,}2373567$$
$$\log(-\mathrm{Q}) = 6{,}14607$$
$$\text{comp}^{\text{t}}\log\omega_0 = \bar{1}{,}6364749$$

$$\bar{4}{,}0199016$$

$$+\mathrm{Q}\,\frac{\Delta}{\omega_0} = -10469$$

$$\frac{1}{r}\mathrm{L} = 6618$$

$$\mathrm{L} = +1{,}773620^{\text{kgm}}$$

Nous avons trouvé

$$\mathrm{L}' = 2530000 \qquad \mathrm{L}'' = -290000$$

La demi-somme algébrique de c
quantités est 1120000.

La valeur réelle de L est donc s
périeure à la moyenne des vale
L′ et L″.

...s ou tensions aux naissances.

R_α à l'intrados $= \frac{X_\alpha}{2e'} - \frac{L}{\frac{2}{3}e'^2}$.

$2e' = 4{,}134 \quad \frac{2}{3}e'^2 = 2{,}85$

$$\frac{X_\alpha}{2e'} = -363000$$

$$\frac{L}{\frac{2}{3}e'^2} = +62{,}2000$$

...ntrados $= 98^k{,}5$ de pression par centimètre carré.

...xtrados $= +25^k{,}9$ de tension par centimètre carré.

...ance de la courbe des pressions au centre de la section $= -\frac{L}{X_\alpha}$

$$Z_\alpha = +1{,}18.$$

...mes calculs pour la clef

$$R_0 = \frac{Q}{2e} - \frac{M_0}{\frac{2}{3}e^2}.$$

$$M_0 = L + r(X_\alpha - Q) + M'_\alpha.$$

$$X_\alpha - Q = -102900$$

$$r(X_\alpha - Q) = -27677200$$

$$M'_\alpha = +25849900$$

$$...(X_\alpha - Q) + M'_\alpha = -1727300$$

$$M_0 = +46300$$

$$2e = 2{,}00 \quad \frac{2}{3}e^2 = \frac{2}{3}$$

$$\frac{Q}{2e} = -69{,}9900.$$

$$\frac{M_0}{\frac{2}{3}e^2} = +6^k{,}9450.$$

R_0 à l'intrados $= -76^k{,}93$ pression

R_0 à l'extrados $= -63^k{,}05$ pression

$$Z_0 = -\frac{M_0}{Q} = +0{,}0331.$$

La courbe des pressions passe dans la section à la clef à $0^m{,}033$ au-dessous du centre de la section.

Calcul de quelques valeurs intermédiaires de z et R. — z est la distance de la courbe des pressions à l'arc moyen et R la pression ou tension en un point quelconque.

Les calculs suivants n'exigent pas une grande approximation. On les effectuera sans logarithmes.

$$z = -\frac{M}{X},$$

$$M = L + M'_\alpha - M'_\omega + r(X_\alpha - X)$$

$$X = Q\cos\omega - Z'\sin\omega.$$

$$Z' = a\omega + b\sin\omega,$$

$$M'\omega = r\left[a(1-\cos\omega) + \frac{b}{2}(1-\cos^2\omega)\right].$$

Effectuons les calculs pour les valeurs suivantes de ω :

$$\omega_1 = 3^\circ \quad \omega_2 = 6^\circ \quad \omega_3 = 9^\circ \quad \omega_4 = 12^\circ$$
$$\text{et } \omega_5 = 15^\circ.$$

Calcul de Z′.

$\omega_1 = 0{,}05236$	$\sin\omega_1 = 0{,}05234$	Diff.	0,00002
$\omega_2 = 0{,}10472$	$\sin\omega_2 = 0{,}10453$		0,00019
$\omega_3 = 0{,}15708$	$\sin\omega_3 = 0{,}15643$		0,00065
$\omega_4 = 0{,}20945$	$\sin\omega_3 = 0{,}20791$		0,00153
$\omega_5 = 0{,}26180$	$\sin\omega_5 = 0{,}25882$		0,00298

$a = 49312000 \qquad b = -48079200$

$a + b = 1232800$

$$Z' = (a+b)\omega - b(\omega - \sin\omega)$$

	$(a+b)\omega$	$-b(\omega - \sin\omega)$	Z′
1	64549	961	65510
2	129000	9135	139194
3	193500	31251	224751
4	258300	73561	331861
5	323200	143200	466400

Calcul de M'_ω.

	$1 - \cos\omega$	$\dfrac{1-\cos 2\omega}{4}$	Différence.
1	0,001371	0,00137	0,000001
2	0,00548	0,00546	0,00002
3	0,01231	0,01223	0,00008
4	0,02185	0,02161	0,00024
5	0,03407	0,03349	0,00058

$$\frac{1}{r} M'_\omega = (a+b)(1-\cos\omega) - b \times \text{diff.}$$

	$(a+b)(1-\cos\omega)$	$-b \times$ diff.	$\frac{1}{r} M'_\omega$
1	1690	48	1738
2	6760	960	7720
3	15160	3846	19006
4	26950	11538	38488
5	42000	27850	69850

M'_ω	$M'_\alpha - M'_\omega$
466000	25384000
2070000	23780000
5100000	20750000
10320000	15530000
18700000	2150000

Calcul de X.

$$X = Q\cos\omega - Z'\sin\omega$$

$Z'\sin\omega$	$-Q(1-\cos\omega)$
3440	1920
14460	7680
35150	17230
68960	30600
120600	47700

$+Q(1-\cos\omega) + Z'\sin\omega$

1520
6780
17920
38360
72900

$$X = X_2 - Q + Q(1-\cos\omega) + Z'\sin\omega$$

$$X_2 - Q = -102900$$

$-(X_\alpha - X)$	$-r(X_\alpha - X)$
101380	27180000
96120	25750000
84980	22780000
64540	17290000
30000	8040000

$-M_\omega + r(X_\alpha - X)$) L—M	M
1796000	$M_1 = -\ 22000$
1970000	$M_2 = -\ 196000$
2030000	$M_3 = -\ 256000$
1760000	$M_4 = -\ 14000$
890000	$M_5 = -\ 884000$

	$(-X)$	$z = -\dfrac{M}{X}$
1	1401380	− 0,016
2	1406580	− 0,140
3	1417720	− 0,181
4	1438160	+ 0,010
5	1472700	+ 0,600

$$E = e\left(1 + \frac{1-\cos\omega}{n}\right)$$

	2ε	$\frac{2}{3}\varepsilon^2$
1	2,068	0,71
2	2,274	0,86
3	2,616	1,24
4	3,092	1,59
5	3,704	2,28

	$-\dfrac{X}{2\varepsilon}$	$\dfrac{M}{\frac{2}{3}\varepsilon^2}$
1	67,5000[k]	− 31000
2	61,8000	− 227800
3	55,2000	− 206600
4	46,5000	+ 8800
5	39,8000	+ 588000

Valeurs de $R = \dfrac{X}{2\varepsilon} \mp \dfrac{M}{\frac{2}{3}\varepsilon^2}$ le signe supérieur pour l'intrados.

Calcul de Z'.

$\omega_1 = 0{,}05236$	$\sin\omega_1 = 0{,}05234$	Diff.	0,00002
$\omega_2 = 0{,}10472$	$\sin\omega_2 = 0{,}10453$		0.00019
$\omega_3 = 0{,}15708$	$\sin\omega_3 = 0{,}15643$		0,00065
$\omega_4 = 0{,}20945$	$\sin\omega_3 = 0{,}20791$		0,00153
$\omega_5 = 0{,}26180$	$\sin\omega_5 = 0{,}25882$		0,00298

$$a = 49312000 \qquad b = -48079200$$

$$a + b = 1232800$$

$$Z' = (a+b)\omega - b(\omega - \sin\omega)$$

	$(a+b)\omega$	$-b(\omega - \sin\omega)$	Z'
1	64549	961	65510
2	129000	9135	139194
3	193500	31251	224751
4	258300	73561	331861
5	323200	143200	466400

Calcul de M'_ω.

	$1 - \cos\omega$	$\frac{1 - \cos 2\omega}{4}$	Différence.
1	0,001371	0,00137	0,000001
2	0,00548	0,00546	0,00002
3	0,01231	0,01223	0,00008
4	0,02185	0,02161	0,00024
5	0,03407	0,03349	0,00058

$$\frac{1}{r} M'_\omega = (a+b)(1 - \cos\omega) - b \times \text{diff.}$$

	$(a+b)(1 - \cos\omega)$	$-b \times \text{diff.}$	$\frac{1}{r} M'_\omega$
1	1690	48	1738
2	6760	960	7720
3	15160	3846	19006
4	26950	11538	38488
5	42000	27850	69850

M'_ω	$M'_\alpha - M'_\omega$
466000	25384000
2070000	23780000
5100000	20750000
10320000	15530000
18700000	2150000

Calcul de X.

$$X = Q\cos\omega - Z'\sin\omega$$

$Z'\sin\omega$	$-Q(1-\cos\omega)$
3440	1920
14460	7680
35150	17230
68960	30600
120600	47700

$$+Q(1-\cos\omega) + Z'\sin\omega$$

1520
6780
17920
38360
72900

$$-X = X_\alpha - Q + Q(1-\cos\omega) + Z'\sin\omega$$

$$X_\alpha - Q = -102900$$

$-(X_\alpha - X)$	$-r(X_\alpha - X)$
101380	27180000
96120	25750000
84980	22780000
64540	17290000
30000	8040000

$(M'_\alpha - M_\omega + r(X_\alpha - X))$ L − M	M
1796000	$M_1 = -\ 22000$
1970000	$M_2 = -\ 196000$
2030000	$M_3 = -\ 256000$
1760000	$M_4 = -\ 14000$
890000	$M_5 = -\ 884000$

	$(-X)$	$z = -\frac{M}{X}$
1	1401380	− 0,016
2	1406580	− 0,140
3	1417720	− 0,181
4	1438160	+ 0,010
5	1472700	+ 0,600

$$E = e\left(1 + \frac{1-\cos\omega}{n}\right)$$

	2ε	$\frac{2}{3}\varepsilon^2$
1	2,068	0,71
2	2,274	0,86
3	2,616	1,24
4	3,092	1,59
5	3,704	2,28

	$-\frac{X}{2\varepsilon}$	$\frac{M}{\frac{2}{3}\varepsilon^2}$
1	67,5000[k]	− 31000
2	61,8000	− 227800
3	55,2000	− 206600
4	46,5000	+ 8800
5	39,8000	+ 388000

Valeurs de $R = \frac{X}{2\varepsilon} \mp \frac{M}{\frac{2}{3}\varepsilon^2}$ le signe supérieur pour l'intrados.

Le tableau suivant fait connaître les valeurs de R rapportées au centimètre carré, c'est-à-dire $\frac{R}{10.000}$.

Nous avons réuni dans ce tableau les valeurs de R_0 et R_α aux cinq qui viennent d'être calculées :

DÉSIGNATION des sections.	VALEURS DE R EN KILOGRAMMES par centimètre carré	
	à l'intrados.	à l'extrados.
0	— 76,93	— 63,05
1	— 61,4	— 70,6
2	— 59,0	— 64,6
3	— 35,2	— 75,2
4	— 47,4	— 45,6
5	— 78,6	— 1,0
α	— 98,05	+ 25,9 (*)

(*) En admettant qu'on ait noyé des ancres et des tirants en fer dans les maçonneries vers l'extrados aux naissances, cet effort à l'extension cessera de paraître anormal. Quoi qu'il en soit, les voûtes ne seront jamais entièrement assimilables à des arcs en métal.

24. La brique ne s'écrasant que sous une pression de 150 kilogrammes par centimètre carré, une voûte construite avec les dimensions précédentes présenterait une stabilité suffisante. En effet, supposons que le pont qu'elle forme ait 6 mètres de largeur. Le poids par mètre courant de ce pont serait de 44.400 kilogrammes. Une surcharge d'épreuve qui atteindrait 1.000 kilogrammes par mètre carré ou 6.000 kilogrammes par mètre courant, augmenterait les valeurs précédentes de R de $\frac{6.000}{44.400} = 0,135$. La pression la plus forte, qui est de 98,05 à l'extrados aux naissances, ne serait encore que $111^k,4$. Cette pression serait encore assez loin de l'écrasement pour qu'il n'y ait pas à craindre que des forces accidentelles lui fassent atteindre cette limite.

Un pont semblable serait économique. Ce serait une

construction remarquable. Nous en joignons un dessin au présent mémoire (*fig.* 20). La dépense serait d'environ 120.000 francs. Il pourrait remplacer le pont de Portet, sur le chemin d'intérêt commun, n° 8, qui a été établi au confluent de l'Ariége et de la Garonne, et qui a été détruit par la crue d'août 1872. Ce pont, construit dans les conditions les plus économiques, avait coûté 180.000 francs environ. Celui qui est projeté près de Grenade sur la Garonne, est estimé 373.800 francs; son ouverture est de 137 mètres.

Quand le moment sera venu, nous n'hésiterons pas à proposer aux autorités compétentes la construction du pont dont la stabilité fait l'objet des calculs précédents.

Dans les voûtes formées par des arcs semblables à celui de la voûte dont nous venons de nous occuper, la résistance croît proportionnellement à l'épaisseur de la voûte. Si l'on fait croître cette épaisseur proportionnellement à la corde, le poids de la construction croît comme le carré, tandis que la résistance croît simplement comme la première puissance de la corde. Il est donc impossible de dépasser de beaucoup dans la construction des voûtes en maçonnerie l'ouverture de celle que nous venons d'étudier. Mais si l'on remplace la pierre par le métal, il sera possible de construire des ponts avec des arcs d'une beaucoup plus grande ouverture.

De pareils arcs reposant sur des fondations tubulaires, pourraient servir à la construction d'un pont sur la Manche.

Un arc en brique d'une épaisseur uniforme de $0^m,14$ présentant une ouverture de 20 mètres et une flèche de 2 mètres, supporterait sous son propre poids une pression maxima de 12 kilogrammes seulement par centimètre carré. Cet arc cuberait $1^{mc},21$ sur une largeur de $0^m,42$ ($0^m,14$ et $0^m,42$ sont les dimensions en usage pour certaines briques du pays). On se livrerait à une expérience intéressante et peu coûteuse en construisant un pareil arc.

TABLES NUMÉRIQUES POUR LES VOUTES D'ÉPAISSEUR CONSTANTE.

25. Dans les voûtes d'épaisseur constante on doit remplacer les nombres ω_0, ω_1, etc., par les nombres ρ_0, ρ_1, etc., dont le tableau est renfermé dans la page 71. Employant ici les mêmes notations pour les différences Δ, Δ', etc., δ_0, δ_1 et δ_3. La valeur de Q est :

$$Q = \frac{a(\delta_0 + \delta_3) - \frac{b}{2}\delta_1 + \frac{2}{3}Z_s\frac{e^2}{r^2}}{\delta_0 + \left(\rho_0 - \frac{2}{3}\rho_2\right)\frac{e^2}{r^2}}.$$

Introduisons encore deux différences, savoir :

$$\Delta_1 = 2\Delta - \rho_5 \quad \text{et} \quad \Delta_2 = 2\Delta' - (\rho_5 - \rho_6);$$

mettons à la place de δ_0, δ_1 et δ_2, leurs valeurs en Δ, Δ', etc., et nous aurons :

$$Q = \frac{-(a+b)\left(\Delta' - \frac{\Delta^2}{\rho_0}\right) + a\left(\Delta_2 - \Delta_1\frac{\Delta}{\rho_0}\right) + \frac{b}{2}\left(\Delta'' - \Delta'\frac{\Delta}{\rho_0}\right) + \frac{2}{3}Z_s}{\Delta' - \frac{\Delta^2}{\rho_0} + \left(\rho_0 - \frac{2}{3}\rho_2\right)\frac{e^2}{r^2}},$$

dans laquelle

$$Z_s = -a\rho_5 - b(\rho_1 - \rho_3)$$

et
$$L = -P\sin\alpha + Q\left(1 - \cos\alpha - \frac{\Delta}{\rho_0}\right) - \frac{1}{r}M'\alpha -$$
$$- \frac{a(\Delta - \Delta_1) + b\left(\Delta - \frac{1}{2}\Delta'\right)}{\rho_0}.$$

Nous donnons ci-après une table des valeurs de ρ_0 des cinq différences Δ, Δ', Δ'', Δ_1 et Δ_2 et des trois différences :

$$\delta = \Delta' - \frac{\Delta^2}{\rho_0}, \quad \delta' = \Delta_2 - \Delta_1\frac{\Delta}{\rho_0}, \quad \delta'' = \Delta'' - \Delta'\frac{\Delta}{\rho_0},$$

ainsi que des autres nombres ρ_1, ρ_2, ρ_3 et ρ_5 qui entrent par eux-mêmes, et non par leurs différences dans les termes relativement petits multipliés par le facteur $\frac{e^2}{r^2}$.

Ces tables sont calculées de degré en degré, depuis l'angle de 10° jusqu'à l'angle de 60°. Le premier angle correspond à un arc dans lequel le rapport de la flèche à l'arc est de $0^m,0437$ et l'angle de 60° répond à peu près à une voûte en plein cintre, car dans une pareille voûte, les parties situées au delà de l'angle de 60° peuvent être considérées comme faisant corps avec les piles ou les culées.

Nous rappelons dans le tableau récapitulatif suivant la signification des lettres dont les valeurs sont données par les tables :

$$=\int_{-\alpha}^{\alpha} \cos\omega d\omega = 2\alpha \qquad \Delta = \rho_0 - \rho_1$$

$$=\int_{-\alpha}^{\alpha} \cos\omega d\omega = 2\sin\alpha \qquad \Delta' = \rho_0 - \rho_1 - (\rho_1 - \rho_2)$$

$$=\int_{-\alpha}^{\alpha} \cos^2\omega d\omega = \alpha + \sin\alpha\cos\alpha \qquad \Delta'' = \rho_0 - \rho_1 - 2(\rho_1 - \rho_2) + \rho_2 - \rho$$

$$=\int_{-\alpha}^{\alpha} \cos^3\omega d\omega = \frac{2}{3}\sin\alpha(\cos^2\alpha + 2) \qquad \Delta_1 = 2\Delta - \rho_5$$

$$\Delta_2 = 2\Delta' - (\rho_5 - \rho_6)$$

$$=\int_{-\alpha}^{\alpha} \omega\sin\omega d\omega = 2(\sin\alpha - \alpha\cos\alpha) \qquad \delta = \Delta' - \frac{\Delta^2}{\rho_0}$$

$$=\int_{-\alpha}^{\alpha} \omega\sin\omega\cos\omega d\omega = \frac{1}{4}(\sin 2\alpha - 2\alpha\cos 2\alpha) \qquad \delta' = \Delta_2 - \Delta_1\frac{\Delta}{\rho_0}$$

$$\delta'' = \Delta'' - \Delta'\frac{\Delta}{\rho_0}$$

Les nombres qui précèdent entrent dans les expressions de Q et L de la manière suivante :

$$Q = \frac{-(a+b)\delta + a\delta' + \frac{b}{2}\delta'' - \frac{2}{3}[a\rho_5 + b(\rho_1 - \rho_3)]\frac{e^2}{r^2}}{\delta + \left(\rho_0 - \frac{2}{3}\rho_2\right)\frac{e^2}{r^2}},$$

$$\frac{1}{r}L = -P\sin\alpha + Q\left(1 - \cos\alpha - \frac{\Delta}{\rho_0}\right) - \frac{1}{r}M'_\alpha -$$

$$-\frac{a(\Delta - \Delta_1) + b\left(\Delta - \frac{1}{2}\Delta'\right)}{\rho_0}.$$

Rappelons que M'_α, moment du poids de la demi-construction par rapport à la verticale à la clef, est égal à :

$$r\left[a(1-\cos\alpha)+\frac{b}{2}(1-\cos^2\alpha)\right].$$

Enfin a et b ont les valeurs suivantes :

$$a = pr\left(E+\frac{E'-E}{1-\cos\alpha}\right), \qquad b = -pr\frac{E'-E}{1-\cos\alpha},$$

p étant le poids du mètre cube de maçonnerie.

E et E' les hauteurs de maçonnerie proportionnelles aux poids de la voûte et du massif de surcharge à la clef et aux naissances.

26. Dans les voûtes peu surbaissées, la longueur CG (*fig.* 17) de la partie du rayon aux naissances comprise entre l'intrados et l'horizontale BG limitant la surcharge différant notablement de la longueur de la ligne brisée CDE, on remplacera l'horizontale BG par un arc de cercle BMF, tangent à BG en B tel que la surface BACF soit égale à la surface BACDE, et l'on considérera cet arc comme la limite réelle de la surcharge. La longueur CF sera le nombre E' qui entre dans les valeurs précédentes de a et b.

Toulouse, 22 juin 1875.

THÉORIE DE LA STABILITÉ DES VOUTES.

TABLES NUMÉRIQUES

Pour les voûtes d'épaisseur constante, précédées d'une instruction qui peut dispenser de recourir à la lecture du mémoire.

INSTRUCTION POUR L'USAGE DES TABLES.

Soit ABCD (*fig.* 15) la coupe de la demi-voûte, O le centre des arcs d'intrados, d'extrados et de l'arc moyen. Tracez un arc EF dont le centre soit sur la verticale OA, et tel que la surface DCEF soit équivalente à la surface DCEI, cette dernière étant supposée représenter le poids de la construction qui surmonte la voûte y compris les parapets. Représentez par E la longueur AE, par E′ la longueur BF, par e la demi-épaisseur constante AH, par α l'angle AOB, r le rayon de l'arc moyen OH, par p le poids du mètre cube de maçonnerie. Calculez les deux quantités a et b données par les formules :

$$a = \left(\mathrm{E} + \frac{\mathrm{E}' - \mathrm{E}}{1 - \cos\alpha}\right) pr, \quad b = \frac{\mathrm{E}' - \mathrm{E}}{1 - \cos\alpha}\, pr.$$

P réaction verticale de la culée ou pile sur la section de naissance BC sera donnée par la formule :

$$\mathrm{P} = -(a\alpha + b\sin\alpha) = -(a + b)\alpha + b(\alpha - \sin\alpha).$$

C'est le poids de la demi-voûte et de sa surcharge.

Le signe moins qui l'accompagne exprime qu'il s'agit d'une force dirigée de bas en haut ou de $+z$ vers $-z$. La première partie des tables suivantes fait connaître les

valeurs de α et $\alpha - \sin\alpha$ jusqu'à 60°. La réaction horizontale Q de la même culée sera donnée par la formule :

$$Q = \frac{-(a+b)\delta + a\delta' + \frac{1}{2}b\delta'' - \frac{2}{3}[a\rho_5 + b(\rho_1 - \rho_2)]\frac{e^2}{r^2}}{\delta + \left(\rho_0 - \frac{2}{3}\rho_2\right)\frac{e^2}{r^2}}.$$

Cette réaction étant dirigée de droite à gauche ou de $+x$ vers $-x$, cette formule conduira toujours à un résultat négatif. Les tables suivantes font connaître les nombres δ, δ', etc., pour tous les degrés depuis 10° jusqu'à 60°.

La résultante des deux réactions P et Q passe en un certain point de la section BC. Représentez par z_α la distance de ce point au centre H de la section. Cette quantité ayant le signe + pour les points situés au-dessous de H entre H et B. Soit m ce point par lequel passe la courbe des pressions.

Le moment de la résultante de P et de Q, par rapport au centre H de la section étant désigné par L, est donné par la formule :

$$\frac{1}{r}L = -P\sin\alpha + Q\left(1 - \cos\alpha - \frac{\Delta}{\rho_0}\right) - (a+b)\frac{\Delta}{\rho_0} +$$

$$+ \frac{a\Delta_1 + \frac{1}{2}b\Delta'}{\rho_0} - \frac{1}{r}M'_\alpha.$$

Si cette quantité a le signe +, la rotation tend à s'effectuer dans le sens de la flèche no, M'_α est le moment de la demi-voûte et de sa charge par rapport à la verticale à la clef et est donné par l'équation :

$$M'\alpha = r[a(1 - \cos\alpha)] + \frac{b}{2}(1 - \cos^2\alpha) =$$

$$= r\left[(a+b)(1 - \cos\alpha) - b\left(1 - \cos\alpha - \left(\frac{1 - \cos^2\alpha}{2}\right)\right)\right].$$

Cette quantité a toujours le signe +, elle est égale à la valeur numérique de P multipliée par la distance du centre de gravité G de la demi-voûte et de sa charge à la verticale OAK.

Les tables donnent les valeurs de Δ, Δ_1 et Δ' qui entrent dans l'expression de L, ainsi que celles de $1 - \cos\alpha$ et $1 - \cos\alpha - \frac{1 - \cos^2\alpha}{2}$, qui servent à calculer $M'\alpha$.

La valeur de z_α est donnée par la formule :

$$z_\alpha = -\frac{L}{X_\alpha},$$

dans laquelle $X_\alpha = P \sin\alpha + Q \cos\alpha$, et représente la composante normale à la section BC de la résultante des réactions de la culée. C'est une quantité négative, et si L est positif, z_α est positif et la courbe des pressions passe au-dessus du centre H. La résultante normale X_α étant connue ainsi que la valeur L du moment M_α, dans la section des naissances la pression normale R par unité de surface en un point de la section BC situé à la distance v du centre H est donnée par l'équation :

$$R = \frac{X_\alpha}{2e} - \frac{Lv}{\frac{2}{3}e^2}.$$

En faisant dans cette formule $v = +e$, on aura la pression à l'intrados; en y faisant $v = -e$, on aura la pression à l'extrados.

La résultante normale X dans une section quelconque MS faisant avec la verticale l'angle ω est donnée par la formule :

$$X = Q \cos\omega - Z' \sin\omega,$$

dans laquelle Z' représente le poids de la partie de la con-

struction comprise entre la clef et le plan MN, et est donné par la formule :

$$Z' = a\omega + b\sin\omega = (a+b)\omega - b(\omega - \sin\omega).$$

Le moment M dans la même section est donné par la formule :

$$M = L + M'_\alpha - M'_\omega + r(X_\alpha - X),$$

dans laquelle

$$M'_\omega = r\left[a(1-\cos\omega) + b\left(\frac{1-\cos^2\omega}{2}\right)\right] =$$
$$= r\left[(a+b)(1-\cos\omega) - b\left(1 - \cos\omega - \frac{1-\cos^2\omega}{2}\right)\right]$$

et représente le moment par rapport à la verticale, à la clef de la même partie de construction AMNE. La première partie des tables facilite le calcul de Z' et M'_ω.

La pression normale R est donnée dans cette section par la même formule que ci-dessus :

$$R = \frac{X}{2e} - \frac{Mv}{\frac{2}{3}e^3},$$

où il faut faire $v = +e$ pour avoir la pression à l'intrados et $v = -e$ pour l'extrados. Pour $\omega = 0$, c'est-à-dire dans la section à la clef, on a :

$$X = Q \quad \text{et} \quad M = L + M'_\alpha + r(X_\alpha - Q).$$

La formule générale $z = -\frac{M}{X}$, donne la distance du point d'application de la résultante dans chaque section au centre de la section. Différentes valeurs de z permettent de tracer la courbe des pressions.

Voyez aux n°s 22 et 23 du mémoire la détermination de deux limites des valeurs de Q et L. Elles correspondent

x deux positions extrêmes de la courbe des pressions, ne passant par D et B, et l'autre par A et C.

Les formules qui nous ont servi pour le calcul des ta-les, sont les suivantes (n° 25 du mémoire) :

$$\Delta = \rho_0 - \rho_1$$

in α $\qquad \Delta' = \rho_0 - \rho_1 - (\rho_1 - \rho_2)$

+ sin α cos α $\qquad \Delta'' = \rho_0 - \rho_1 - 2(\rho_1 - \rho_2) + \rho_2 - \rho_3 \qquad \delta = \Delta' - \Delta \frac{\Delta}{\rho_0}$

in 2(cos²α + 2) $\qquad \delta' = \Delta_2 - \Delta_1 \frac{\Delta}{\rho_0}$

$$\Delta_1 = 2\Delta - \rho_5 \qquad \delta'' = \Delta - \Delta \frac{\Delta}{\rho_0}$$

in α—α cos α) $\qquad \Delta_2 = 2\Delta' - (\rho_5 - \rho_6)$

sin 2α—2α cos 2α)

Les nombres ρ_0, ρ_1, etc., se calculent à l'aide des tables e Callet, les nombres δ, δ', δ'', au moyen du développe-ment en série, suivant les puissances croissantes de l'arc α jusqu'à l'angle de 50°. Il suffit des trois premiers termes pour δ et des deux premiers pour δ', δ''; les développements ainsi limités sont :

$$\delta = \frac{2}{3^2.5}\alpha^5 - \frac{2}{3^2.5.7}\alpha^7 + \frac{2.37}{2^5.3^3.5^2.7}\alpha^9 - \text{etc.}$$

$$\delta' = \frac{2}{3^2.5.7}\alpha^7 - \frac{4}{3^3.5^2.7}\alpha^9 + \text{etc.}$$

$$\frac{1}{2}\delta'' = \frac{1}{3.5.7}\alpha^7 - \frac{13}{2^2.3^2.5^2.7}\alpha^9 + \text{etc.}$$

Degrés.	α	$\alpha - \sin \alpha$	$1 - \cos \alpha$	$1 - \cos \alpha - \frac{1-\cos^2\alpha}{2}$
1	0,01745	0,00000089	0,0001523	0,000000011
2	0,03491	0,00000709	0,0006090	0,000000186
3	0,05236	0,00002390	0,0013710	0,000000940
4	0,06981	0,00005670	0,0024400	0,000002970
5	0,08727	0,00011070	0,0038100	0,000007200
6	0,10472	0,00019130	0,00548	0,0000150
7	0,12217	0,00030400	0,00745	0,0000279
8	0,13963	0,00045300	0,00973	0,0000175
9	0,15708	0,00064500	0,01231	0,0000761
10	0,17453	0,00088500	0,01519	0,0001160
11	0,19199	0,00118	0,01837	0,00017
12	0,20944	0,00153	0,02185	0,00024
13	0,22689	0,00194	0,02563	0,00033
14	0,24435	0,00242	0,02970	0,00044
15	0,26180	0,00298	0,03407	0,00058
16	0,27925	0,00362	0,03874	0,00075
17	0,29671	0,00433	0,04370	0,00096
18	0,31416	0,00514	0,04894	0,00120
19	0,33161	0,00604	0,05448	0,00148
20	0,34907	0,00705	0,06031	0,00182
21	0,36652	0,00815	0,06642	0,00221
22	0,38397	0,00937	0,07282	0,00266
23	0,40143	0,01069	0,07950	0,00317
24	0,41888	0,01214	0,08645	0,00373
25	0,43633	0,01371	0,09369	0,00439
26	0,45379	0,01541	0,10121	0,00513
27	0,47124	0,01725	0,10899	0,00594
28	0,48869	0,01922	0,11705	0,00685
29	0,50615	0,02134	0,12538	0,00786
30	0,52360	0,02355	0,13397	0,00897
31	0,54105	0,0260	0,14283	0,01020
32	0,55851	0,0286	0,15195	0,01154
33	0,57596	0,0313	0,16133	0,01302
34	0,59341	0,0342	0,17096	0,01461
35	0,61087	0,0373	0,18085	0,01636
36	0,62832	0,0405	0,19098	0,01824
37	0,64577	0,0440	0,20136	0,02027
38	0,66323	0,0476	0,21199	0,02247
39	0,68068	0,0514	0,22285	0,02483
40	0,69814	0,0553	0,23396	0,02738
41	0,71558	0,0596	0,24529	0,03008
42	0,73304	0,0639	0,25686	0,03299
43	0,75049	0,0685	0,26865	0,03609
44	0,76794	0,0733	0,28066	0,03939
45	0,78540	0,0783	0,29289	0,04289
46	0,80285	0,0835	0,30534	0,04662
47	0,82030	0,0890	0,31800	0,05056
48	0,83776	0,0946	0,33087	0,05474
49	0,85521	0,1005	0,34394	0,05915
50	0,87266	0,1066	0,35721	0,06380
51	0,89012	0,1130	0,37068	0,06870
52	0,90757	0,1196	0,38434	0,07136
53	0,92502	0,1264	0,39819	0,07928
54	0,94248	0,1335	0,41221	0,08496
55	0,95993	0,1408	0,42642	0,08092
56	0,97738	0,1484	0,44081	0,09716
57	0,99484	0,1562	0,45536	0,1037
58	1,01229	0,1643	0,47008	0,1105
59	1,02974	0,1726	0,48496	0,1176
60	1,04720	0,1812	0,50000	0,1250

δ	δ'	$\frac{1}{2}\delta'$	ρ_3	$\rho_1 - \rho_3$	$\rho_0 - \frac{2}{3}\rho_3$	$\frac{\Delta}{\rho_0}$	$\frac{\Delta'}{\rho_0}$	$\frac{1}{2}\frac{\Delta'}{\rho_0}$
0,0000717	0,0000000842	0,0000000467	0,0035	0,0035	0,119	0,00507	0,0000161	0,0000233
0,0001153	0,0000000607	0,0000000908	0,0047	0,0046	0,131	0,00612	0,0000224	0,0000336
0,0001770	0,0000001120	0,0000001670	0,0061	0,0060	0,144	0,00728	0,0000317	0,0000478
[illegible]	0,0000001930	0,0000002910	0,0077	0,0076	0,156	0,00855	0,0000447	0,0000660
[illegible]	0,0000003280	0,0000004890	0,0097	0,0094	0,169	0,00992	0,0000593	0,0000885
[illegible]	0,0000005200	0,0000007900	0,0119	0,0115	0,182	0,01137	0,0000798	0,0001170
[illegible]	0,0000008320	0,0000012400	0,0144	0,0140	0,196	0,01295	0,0001008	0,0001500
0,0010100	0,0000012700	0,0000018900	0,0173	0,0166	0,209	0,01460	0,0001288	0,0001920
[illegible]	0,0000018900	0,0000028100	0,0205	0,0196	0,223	0,01640	0,0001614	0,0002400
0,0017500	0,0000026600	0,0000040900	0,0240	0,0230	0,237	0,01825	0,0002003	0,0002980
[illegible]	0,0000039400	0,0000058600	0,0280	0,0266	0,251	0,02020	0,0002454	0,0003660
[illegible]	0,0000055400	0,0000082200	0,0323	0,0306	0,266	0,02225	0,0002985	0,0004440
[illegible]	0,0000077600	0,0000113500	0,0372	0,0350	0,280	0,02432	0,0003603	0,0005340
[illegible]	0,0000104100	0,0000154400	0,0424	0,0398	0,296	0,02665	0,0004300	0,0006370
[illegible]	0,0000140300	0,0000207300	0,0481	0,0449	0,311	0,02900	0,0005090	0,0007530
[illegible]	0,0000186400	0,0000275000	0,0543	0,0503	0,327	0,03140	0,0005980	0,0008880
[illegible]	0,0000244700	0,0000361000	0,0610	0,0562	0,342	0,03350	0,0007000	0,0010350
[illegible]	0,0000318000	0,0000468000	0,0682	0,0624	0,359	0,03660	0,0008140	0,0011950
[illegible]	0,0000409000	0,0000601000	0,0760	0,0689	0,375	0,03930	0,0009400	0,0013850
0,0014200	0,0000521900	0,0000766000	0,0842	0,0759	0,392	0,04220	0,0010830	0,0015900
[illegible]	0,0000660000	0,0000967000	0,0931	0,0833	0,410	0,04510	0,0012360	0,0018200
[illegible]	0,0000828000	0,0001210000	0,1025	0,0911	0,427	0,04810	0,0014050	0,0020650
[illegible]	0,0001032000	0,0001510000	0,1130	0,0992	0,445	0,05120	0,0015750	0,0023400
[illegible]	0,0001270000	0,0001860000	0,1230	0,1077	0,463	0,05440	0,0017800	0,0026400
[illegible]	0,0001568000	0,0002280000	0,1340	0,1166	0,482	0,05760	0,0019970	0,0029700
[illegible]	0,0001911000	0,0002760000	0,1460	0,1258	0,501	0,06100	0,0022500	0,0033300
0,00418	0,000225	0,000337	0,159	0,135	0,521	0,0645	0,00254	0,00372
0,00472	0,000267	0,000406	0,172	0,145	0,541	0,0680	0,00280	0,00413
[illegible]	0,000375	0,000487	0,186	0,156	0,561	0,0717	0,00312	0,00459
[illegible]	0,000434	0,000581	0,201	0,166	0,582	0,0755	0,00347	0,00507
[illegible]	0,000490	0,000689	0,216	0,177	0,603	0,0794	0,00387	0,00560
[illegible]	0,0005800	0,000814	0,232	0,188	0,624	0,0832	0,00430	0,00618
[illegible]	0,0006740	0,000957	0,249	0,200	0,646	0,0872	0,00474	0,00676
[illegible]	0,0007880	0,001122	0,266	0,211	0,668	0,0913	0,00520	0,00742
[illegible]	0,0009210	0,001340	0,285	8,224	0,691	0,0955	0,00568	0,00810
[illegible]	0,0010740	0,001520	0,304	0,236	0,714	0,0997	0,00618	0,00885
[illegible]	0,0012500	0,001770	0,323	0,248	0,737	0,1040	0,00666	0,00958
[illegible]	0,0014500	0,002040	0,344	0,264	0,761	0,1084	0,00732	0,01045
[illegible]	0,0016700	0,002340	0,365	0,274	0,786	0,1129	0,00796	0,01131
[illegible]	0,0019200	0,002680	0,387	0,287	0,810	0,1176	0,00860	0,01224
[illegible]	0,0022000	0,003100	0,410	0,300	0,835	0,1222	0,00929	0,01324
[illegible]	0,0025300	0,003620	0,434	0,313	0,861	0,1270	0,01000	0,01426
[illegible]	0,0028600	0,004010	0,459	0,326	0,887	0,1320	0,01085	0,01536
[illegible]	0,0032500	0,004600	0,484	0,340	0,913	0,1365	0,01175	0,01650
[illegible]	0,0037300	0,005250	0,510	0,353	0,940	0,1416	0,01266	0,01775
[illegible]	0,0041800	0,005850	0,537	0,366	0,967	0,1470	0,01360	0,01902
[illegible]	0,0047200	0,006660	0,565	0,380	0,994	0,1518	0,01490	0,02037
[illegible]	0,0053200	0,007450	0,594	0,393	1,022	0,1570	0,01550	0,02180
[illegible]	0,0059700	0,008300	0,623	0,407	1,050	0,1625	0,01660	0,02325
[illegible]	0,0067000	0,009300	0,654	0,420	1,079	0,1676	0,01770	0,02480
[illegible]	0,0075000	0,010300	0,685	0,433	1,108	0,1730	0,01890	0,02640

Exemple de l'application des tables. — Dans le pont projeté sur la Garonne, près de Grenade, chef-lieu de canton de l'arrondissement de Toulouse, les arches ont 25 mètres d'ouverture et $4^m,20$ de flèche. Les autres données sont les suivantes :

$$E = 1^m,71 \qquad E' = 5^m,13$$

$$e = 0^m,605 \qquad \alpha = 37°9' \qquad r = 20^m,70$$

Calcul de a et b.

$$a = \left(E + \frac{E' - E}{1 - \cos\alpha}\right) pr = 768800$$

$$b = \left(\frac{E' - E}{1 - \cos\alpha}\right) pr = -69$$

$$a + b = 7$$

Calcul de P.

$$P = -(a\alpha + b\sin\alpha) = -(a+b)\alpha + b($$

α,		$\alpha -$
pour 37°	0,64577	pour 37
pour 9′	262	pour 9
$\alpha = 0,64839$		$\alpha - \sin\alpha =$

$(a+b)\alpha = 45906 \qquad b(\alpha - \sin\alpha) =$

$P = -76967^k$.

Calcul de Q.

$$Q = \frac{-(a+b)\delta + a\delta' + \frac{1}{2}b\delta'' - \frac{2}{3}\left[a\rho_3 + b(\rho_1 - \rho_3)\right]\frac{e^2}{r^2}}{\delta + \left(\rho_0 - \frac{2}{3}\rho_2\right)\frac{e^2}{r^2}}.$$

δ	
pour 37°	0,004702
pour 9′	95
$\delta =$	0,004797

$(a+b)\delta = 339,63.$

δ'		$\frac{1}{2}\delta''$	
pour 37°	0,0002807	pour 37°	0,000406
pour 9′	85	pour 9′	12
$\delta' =$	0,0002892	$\frac{1}{2}\delta'' =$	0,000418
$a\delta' =$	222,18	$\frac{1}{2}b\delta =$	— 291,76

ρ_3		$\rho_1 - \rho_3$	
pour 37°	0,172	pour 37°	0,145
pour 9′	2	pour 9′	2
$\rho_3 =$	0,174	$\rho_1 - \rho_3 =$	1,047
$a\rho_3 =$	134000	$b(\rho_1 - \rho_3) =$	10250

$e = 0,605 \qquad r = 20,70 \qquad \frac{e^2}{r^2} = 0,$

$$\frac{2}{3}\left[a\rho_3 + b(\rho_1 - \rho_3)\right]\frac{e^2}{r^2} = 1$$

Numérateur de Q = — 4

$\rho_0 - \frac{2}{3}\rho_2$

pour 37° 0,541

pour 9′ 3

$\rho_0 - \frac{2}{3}\rho_2 =$ . . 0,544

$$\left(\rho_0 - \frac{2}{3}\rho_2\right)\frac{e^2}{r^2} = 0,000$$

Dénominateur de Q = 0,00

$Q = -81200^k$.

Calcul de L.

$$-\mathrm{P}\sin\alpha+\mathrm{Q}\left(1-\cos\alpha-\frac{\Delta}{\rho_0}\right)-\frac{1}{r}\mathrm{M}'\alpha$$
$$-(a+b)\frac{\Delta}{\rho_0}+a\frac{\Delta_1}{\rho_0}+\frac{1}{2}b\frac{\Delta'}{\rho_0}.$$

$$\frac{1}{r}\mathrm{M}'_\alpha=(a+b)(1-\cos\alpha)-$$
$$-b\left(1-\cos\alpha-\frac{1-\cos^2\alpha}{2}\right).$$

$1-\cos\alpha$

7° 0,20136
9′ 159

α = ... 0,20295
(a + b)(1 — cos α) = 14369

$1-\cos\alpha-\dfrac{1-\cos^2\alpha}{2}$

pour 37°. 0,02027
pour 9′. 33

$1-\cos\alpha-\dfrac{1-\cos^2\alpha}{2}=$ 0,02060

$b\left(1-\cos\alpha-\dfrac{1-\cos^2\alpha}{2}\right)=-14379$

$$\frac{1}{r}\mathrm{M}'_\alpha=28700.$$

sin α = 0,60389
P sin α = — 46500

$\dfrac{\Delta}{\rho_0}$		$\dfrac{\Delta_1}{\rho_0}$	
37° . .	0,0680	pour 37° . .	0,00280
9′ . .	6	pour 9′ .	5
. .	0,0686	$\dfrac{\Delta_1}{\rho_0}$ = . . .	0,00285

$\dfrac{1}{2}\dfrac{\Delta'}{\rho_0}$

pour 37° 0,00413
pour 9′ 7

$\dfrac{1}{2}\dfrac{\Delta'}{\rho_0}=$ 0,00420

$1-\cos\alpha-\dfrac{\Delta}{\rho_0}=0,1343$

$\left(1-\cos\alpha-\dfrac{\Delta}{\rho_0}\right)=-10900$

$)\dfrac{\Delta}{\rho_0}=4856,88 \qquad a\dfrac{\Delta_1}{\rho_0}=2190,9$

$\dfrac{1}{2}b\dfrac{\Delta'}{\rho_0}=-3309,6$

$\dfrac{1}{r}\mathrm{L}=+924,4 \qquad \mathrm{L}=19135^{\mathrm{kgm}}.$

Naissances.

—

Calcul de z_α.

Distance de la courbe des pressions à l'arc moyen aux naissances :

$$z_\alpha=-\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{X}_\alpha}$$

$$\mathrm{X}_\alpha=\mathrm{P}\sin\alpha+\mathrm{Q}\cos\alpha.$$
$$\mathrm{Q}\cos\alpha=-\ 64725$$
$$\mathrm{X}_\alpha=-\ 111225$$
$$\mathrm{Z}_\alpha=+\ 0,172$$

Calcul de R_α

$$\mathrm{R}_\alpha=\frac{\mathrm{X}_\alpha}{2e}\mp\frac{\mathrm{L}}{\frac{2}{3}e^2}$$

(Le signe supérieur est pour l'intrados.)

$2e = 1^m,21 \qquad \frac{2}{3}e^2 = 0,244$

$$\frac{X_\alpha}{2e} = -91900$$

$$\frac{L}{\frac{2}{3}e^2} = +78400$$

R_α à l'intrados $= -17^k,03$ de pression par centimètre carré.

R_α à l'extrados $= -1^k,35$ de pression par centimètre carré.

Clef.

Calcul de M_0.

$$\frac{1}{r}M_0 = \frac{1}{r}L + \frac{1}{r}M'_\alpha + X_\alpha - Q$$

+	−
$\frac{1}{r}L = 924,4$	$X_\alpha = -111225$
$\frac{1}{r}M'_\alpha = 28700,0$	$+110824$
$-Q = 81200,0$	$\frac{1}{r}M_0 = 401$
110824,4	

$$M_0 = -8300,7$$

Calcul de z_0.

$$z_0 = -\frac{M_0}{Q} = -0,102.$$

Calcul de R_0

$$R_0 = \frac{Q}{2e} \mp \frac{M_0}{\frac{2}{3}e^2}$$

$$\frac{Q}{2e} = -67100$$

$$\frac{M_0}{\frac{2}{3}e^2} = -35470$$

R_0 à l'intrados $= -3^k,16$ de pression par centimètre carré.

R_0 à l'extrados $= -10^k,26$ de pression par centimètre carré.

La pression $R_\alpha = -17^k,03$ aux naissances à l'intrados est le maximum. Il est peu intéressant de calculer les pressions à l'intrados et à l'extrados dans la section intermédiaire.

Toulouse, 22 juin 1875.

N° 12

NOTE

SUR

LES GISEMENTS ACTUELS DE GUANO AU PÉROU

ar MM. Léon et Alfred DURAND-CLAYE, ingénieurs des ponts et chaussées.

Exposé. — Un certain émoi s'est produit dans le monde agricole, il y a deux ou trois ans, à la nouvelle que les gisements de guano étaient épuisés. Menacé dans son crédit, dont ce produit forme la principale garantie, le gouvernement du Pérou a fait faire des études pour constater la richesse des *huaneras* qui lui restent. Nous avons pensé qu'il serait intéressant pour les ingénieurs qui dirigent des services hydrauliques, de connaître les résultats de ce travail.

Origine du guano. — Chacun sait l'origine des gisements de guano, sur la côte du Pérou. Des multitudes innombrables d'oiseaux divers, pélicans, alcatras et autres, désignés ensemble sous le nom de *guanaes*, ont, de tout temps, hanté les îles désertes et les ravins incultes que présentent ces parages. Ils y sont attirés par l'abondance extraordinaire des poissons qui pullulent dans les eaux relativement froides du courant issu du cap Horn (*).

(*) Le nombre extraordinaire d'oiseaux qui peuvent vivre sur un point déterminé n'est, du reste, pas spécial au Pérou; l'un de nous a eu personnellement l'occasion de constater un fait de ce genre, il y a quelques années. Au lever du soleil, sur les bords du lac Fetzara, situé en Algérie entre Philippeville et Bône, il a vu

Plusieurs auteurs ont calculé que ces légions de volatiles, dont l'effectif malheureusement diminue chaque jour avec une effrayante rapidité devant les progrès de la civilisation, ont pu créer par leurs déjections, dans la période des temps historiques, les immenses dépôts de guano que l'on rencontre sur les côtes du Chili et du Pérou. Quelques-uns même estiment que ces dépôts pourraient se renouveler en plusieurs siècles, si les *guanaes* ne disparaissaient à vue d'œil devant l'homme.

Division des gisements. — Les gisements du Pérou se répartissent en trois zones distinctes (*). Celle du nord s'étend du 6e au 9e degré de latitude sud, et longe le département de la Libertad. Ses principaux gisements sont ceux des îles Lobos, Macabi et Guañape. La zone du centre, comprise entre le 13e et le 14e parallèle, se compose uniquement du groupe des îles de Chincha. La zone du sud s'étend du 19e au 22e degré de latitude, tout le long de la province de Tarapaca. Ses gisements les plus importants sont ceux de Pabellon de Pica et de Punta de Lobos.

Anciennes exploitations.— Les Indiens avaient remarqué de longue date l'existence de ces dépôts, et savaient parfaitement l'usage qu'ils pouvaient en faire pour leur agriculture. On trouve dans les huaneras, et spécialement dans celles du sud, les traces certaines de leurs exploitations; ils allaient chercher les meilleures couches par de vraies galeries de mine de 3 mètres de large sur 1m,80 de hauteur. Les gisements étaient répartis entre les diverses villes; le gouvernement des Incas protégeait les dépôts de guano par les lois les plus sévères, ne reculant même pas devant la peine de mort pour favoriser la multiplication des guanaes. L'invasion européenne mit fin à cette exploi-

---

sortir des roseaux une colonne d'oiseaux aquatiques qui n'a cessé de s'élever du sol vers les hautes régions de l'atmosphère pendant vingt minutes consécutives, montre en main.

(*) Voir la carte du Pérou, Pl. 30 de 1875, cahier de décembre.

tation : toute l'activité se tourna vers les mines de métaux précieux. L'usage du guano se perpétua cependant dans quelques contrées, au sud du Pérou, dans les provinces d'Arequipa et de Moquegua, dans la vallée de Chansay et quelques autres du nord.

Introduction du guano en Europe. — C'est l'illustre Humboldt qui, le premier, rapporta en Europe des échantillons de cette matière, qu'il avait vu employer par les paysans péruviens. Vauquelin et Fourcroy en déterminèrent les principes immédiats. L'agriculture européenne n'était guère en état d'apprécier la valeur de ces nouveaux engrais ; mal guidée par une chimie imparfaite, elle en était encore aux systèmes primitifs de la jachère. Ce n'est que vers 1840 que l'exportation du guano prit quelques développements. Le gouvernement du Pérou, comprenant la source de richesse qui s'offrait à lui, chargea, en 1844, M. Francisco de Rivero de l'étude des divers gisements de guano connus à cette époque. Les résultats de ce travail ont donné, pour l'existence du guano, dans la zone du sud, 15.840.000 vares cubiques, du poids moyen de 1.200 livres. C'est à peu près 10 millions de tonnes. Dans la zone du centre, celle des îles de Chincha, il trouvait 36.560.000 vares cubiques, ou environ 23 millions de tonnes (*). Ses recherches n'ont pas porté sur la zone du nord.

Exploitation des îles de Chincha. — Les îles de Chincha, où le guano paraissait de qualité plus constante et plus riche, furent seules exploitées pendant vingt-cinq ans. La vogue en fut immense. La France, de 1850 à 1870, en a importé des quantités croissantes s'élevant jusqu'à 100.000 tonnes par an. L'Angleterre en prit quatre ou cinq fois autant. En 1869, l'exportation pour les États européens et leurs colonies était de 550.000 tonnes. Si l'on y ajoute la

(*) Ces chiffres sont extraits d'un mémoire étendu de M. Boussingault sur les gisements de guano, où l'on trouvera les détails qui ne peuvent entrer dans le cadre de cette note.

consommation locale, celle des autres États de l'Amérique et du monde entier, on comprendra facilement la rapidité avec laquelle cette riche mine s'est épuisée.

D'après le rapport d'une commission instituée au Pérou en 1853, on ne comptait plus aux îles de Chincha que 12.376.000 tonnes. En 1857, la Chambre des communes de la Grande-Bretagne était informée qu'il n'y avait plus que 8.600.000 tonnes (*). Enfin en 1870, les gisements étaient à peu près épuisés, et l'exportation en était suspendue. Ce qui pouvait rester, estimé à 150.000 tonnes environ, était réservé pour les besoins de l'agriculture péruvienne.

Le succès de cet engrais s'explique par sa richesse. Voici, d'après M. Boussingault, la moyenne d'un grand nombre d'analyses faites par Nesbit sur les guanos des îles de Chincha :

Azote.	14,29
Eau.	15,82
Autres matières organiques.	38,23
Phosphate basique de chaux.	19,52
Acide phosphorique soluble.	3,12
Sels alcalins.	7,56
Silice et sable.	1,46
	100,00

Sans être absolument constante, la composition de ce guano variait dans les limites peu étendues. Aussi, les agriculteurs l'acceptaient sur son odeur et son aspect bien connus.

Exploitation des gisements du nord. — L'inquiétude fut grande parmi eux lorsque, il y a trois ou quatre ans, ils virent cet aspect changer et l'efficacité du guano diminuer en même temps. L'analyse chimique faisait ressortir, en effet, un appauvrissement considérable dans sa teneur en

(*) Voyez la note précédente.

azote. De 14, elle tombait en moyenne à 10 p. 100, et même au-dessous. C'est que, après avoir épuisé les îles de Chincha, on avait dû attaquer les autres gisements.

On eut d'abord recours à la zone du nord. Il n'existe pas d'études sérieuses sur l'importance des huaneras qu'elle comprend. M. Hutchinson, consul anglais au Callao, l'évaluait à 3 millions de tonnes. Les sites exploités furent principalement les îles Guañape et Macabi, comprises de 7 à 9 degrés de latitude australe, entre le rio Santa et le rio Jequitepeque. Elles avaient été estimées devoir fournir 440.000 tonnes, et, en 1874, on en avait exporté plus du double sans qu'elles fussent épuisées.

Ce guano ne semble pas avoir hérité de la faveur acquise à celui des îles de Chincha. L'amoindrissement et surtout l'irrégularité du titre en azote ont rendu l'agriculteur méfiant à son égard. Il renferme en outre, une plus grande dose d'humidité, qui le rend pâteux et d'une application difficile. On est obligé, pour qu'il devienne friable, d'y ajouter de l'acide sulfurique, du plâtre ou autres sulfates. Le commerce fournit de ces mélanges tout préparés sous le nom de *guano dissous*.

Les ressources de la zone du nord, bien que peu connues, sont évidemment restreintes et ne tarderont pas à s'épuiser. Restent les gisements du sud.

Gisements du sud. — Le gouvernement du Pérou, tant pour s'éclairer que pour donner satisfaction aux agriculteurs et aux capitalistes européens, a ordonné, il y a deux ans, une nouvelle étude des gisements de la province de Tarapaca, signalés en 1844 par M. de Rivero. Dans ces parages, la côte est souvent abrupte, déchiquetée par de nombreuses criques, sauvage et peu habitée. Le terrain est de formation primitive, composé de granite, mica, gneiss, quartz. Dans de nombreux ravins, nommés quebradas, souvent situés sur de hautes falaises, se montrent des gisements de guano qui atteignent en certains points des

épaisseurs de 20 à 30 mètres. La matière est disposée suivant des couches de couleur variable, brune, blanche, jaunâtre; des blocs détachés des montagnes voisines s'y rencontrent à l'état erratique, des bandes de matières sableuses s'entremêlent quelquefois au guano pur; les couches sont relevées et tourmentées comme par l'effet de convulsions volcaniques. Leur surface est souvent agglomérée et recouverte d'une croûte saline très-dure, d'épaisseur variable atteignant plusieurs décimètres : la nature des sels qui la composent ne paraît pas avoir été étudiée. Les traces d'ancienne exploitation sont là des plus nettes; on retrouve les vestiges des galeries de mine avec leurs piliers à moitié effondrés, et des chemins d'exploitation encore parfaitement dessinés. Les ingénieurs du gouvernement du Pérou, MM. Thierry et Hindle, ont fait une reconnaissance détaillée de ces divers gisements. Leur rapport, en date du 31 mars 1874, est accompagné de plans qui semblent rendre d'une manière frappante l'aspect de chaque localité.

Ces ingénieurs sont arrivés pour les gisements de la province de Tarapaca aux cubes approximatifs suivants:

En allant du sud au nord :

	mètres cubes.
Chipana.	89.800
Huanillos.	700.000
Punta de Lobos.	1.696.900
Pabellon de Pica.	5.000.000
Chanavaya.	150.000
Patache.	125.000
Patillos.	150.000
Total.	7.911.700

Ces évaluations ont été vérifiées par le contre-amiral Cochrane et le commandant Cookson, de la marine anglaise, qui ont adressé des rapports spéciaux à l'amirauté en mars-avril 1874. Le commandant Cookson arrive à un tonnage approximatif de 7.400.000 tonnes.

Il est à peine utile de faire remarquer que ces mesurages ne peuvent fournir que des indications dépourvues de précision ; les ondulations d'un terrain tourmenté, la présence de blocs isolés et de couches d'une dureté exceptionnelle, l'abondance même et l'étendue des dépôts exigeraient pour un cubage exact des opérations aussi longues que l'exploitation elle-même. Mais dans leur imperfection obligée, ces premières recherches donnent une idée de l'importance des dépôts encore disponibles.

Quant à la qualité de leurs produits, il serait prématuré d'en fixer la valeur précise. Les échantillons examinés jusqu'ici ont souvent été empruntés à la surface des bancs, dans une partie accessible aux intempéries, où le guano a pu être plus ou moins altéré.

Il nous a paru intéressant toutefois de résumer dans le tableau ci-dessous les indications que nous avons pu recueillir à diverses sources sur la composition d'échantillons pris dans les divers gisements:

…ENTS.	AZOTE					ACIDE phosphorique soluble.		Phosphate de chaux insoluble d'après M. Raimondi.	Sels alcalins d'après M. Raimondi.	Eau d'après MM. Raimondi, Manning et Voelker.
	dosé à l'état d'azote.		calculé en ammoniaque.		à l'état d'acide azotique d'après M. Voelker.					
	D'après M. Voelker.	D'après M. Maret.	D'après M. Manning.	D'après M. Raimondi.		D'après M. Manning.	D'après M. Raimondi.			
…	»	7,35	9.83	7 à 11	»	8,73	1 à 11	27 à 32	11 à 19	5 à 13
…	7 à 10	8,72	11,42	3 à 11	0,3 à 2,9	6,77	2 à 10	8 à 48	5 à 18	5 à 17
…e Lobos.	3 à 10	9,43	11.74	1 à 16	0,3 à 3.5	6,94	5 à 12	5 à 48	6 à 30	3 à 14
…de Pica.	7 à 15	7.47	9,77	1 à 14	0,01 à 1,20	3,30	3 à 11	6 à 27	11 à 27	3 à 12
…ya.	»	11,09	14,03	»	»	»	»	»	»	»
…	»	2,73	»	1 à 13	»	»	0 à 9	11 à 48	9 à 14	3 à 8

Nous avons entre les mains une série de six échantillons qui nous ont été remis par M. Habich, ancien élève externe de l'École des ponts et chaussées, membre du conseil central des ingénieurs de l'État au Pérou. Leur valeur semblerait devoir se rapprocher de la moyenne probable à espérer de la nouvelle exploitation.

L'analyse qui en a été faite au laboratoire de l'École des ponts et chaussées par l'un de nous, a donné les résultats suivants :

	CHIPANA.	HUANILLOS.	PUNTA DE LOBOS.	PABELLON DE PICA.	CHANAVAYA.
Azote.	7,34	9,58	9,11	7,31	11,40
Eau et matières organiques.	50,82	38,98	52,99	48,89	47,88
Silice et argile.	1,72	17,28	1,80	5.56	1,30
Chaux.	10,71	10,70	10,23	9,94	15,96
Acide phosphorique.	12.17	11.83	12,07	11,48	16,90
Peroxyde de fer.	0,21	1,49	0,41	0,39	0,29
Alumine.	6,10	4,84	3,16	4,87	2,36
Magnésie.	0,25	0,98	0,19	0.22	0,29
Potasse.	2,95	1,51	1,96	2,03	1,04
Soude.	4,20	1,34	2,11	3,68	0,96
Chlore, acide carbonique et autres produits non dosés.	3,53	1,47	5,67	5,63	1,62
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Acide phosphorique soluble pour 100.	3,22	1,14	5,10	5,64	2,86

L'échantillon provenant de Patache est presque dépourvu de sels ammoniacaux, et ne possède qu'une odeur à peine sensible de guano. Il renferme une quantité considérable de sels alcalins. On peut remarquer d'ailleurs que cette quantité varie dans tous les échantillons, en sens inverse de leur teneur en azote.

On observe dans les résultats des analyses rappelées ci-dessus, de grandes différences d'un échantillon à l'autre. Cette variation est surtout frappante dans le travail de M. Raimondi, chimiste du corps des ingénieurs du Pérou, qui a examiné trente-six échantillons empruntés aux couches les plus dissemblables. L'un dans l'autre, ceux-ci sont moins riches que les nôtres ; ils ne dosent que 5,08 p. 100 d'azote en moyenne, tandis que nous avons trouvé 7,95.

Le guano du sud est remarquablement sec. La moyenne d'humidité trouvée par M. Raimondi est de 6,65 p. 100 ; c'est beaucoup moins qu'aux îles de Chincha, et à plus forte raison qu'aux îles Macabi et Guañape. Sous ce rapport, il a une supériorité marquée et échappe à toute mani-

ulation supplémentaire, ayant pour objet de le rendre pulérulent. Si l'on rejette les gisements sans odeur, comme elui de Patache, la moyenne de sa dose en azote se mainent de 8 à 9 p. 100. Sa richesse en acide phosphorique t la même que celle du guano des îles de Chincha, mais t élément y paraît soluble en plus grande proportion. nfin il renferme en quantité notable de la potasse, trèscherchée aujourd'hui par l'agriculture.

Conclusions. — Il y a là des conditions de succès pour le uveau produit qui va se présenter sur le marché. Néanoins, si la grande variété de composition remarquée dans s échantillons étudiés jusqu'ici s'étendait à la masse enre, ne serait-il pas à craindre de voir se confirmer de us en plus le discrédit dont le guano semble menacé, et s agriculteurs rechercher de préférence les engrais moins omplets, mais à composition constante, tels que le sulfate d'ammoniaque, le nitrate de soude et le phosphate d'os?

La pratique seule résoudra ces questions. Il serait téméraire de préjuger de l'avenir réservé aux nouveaux gisements du guano. Nous avons voulu seulement signaler l'abondante source de richesse agricole qu'ils présentent ncore, et l'analyse des faits résumés dans cette note ourra contribuer à fixer les idées sur ce point.

Paris, le 10 décembre 1875.

CHRONIQUE.

Février 1876.

N° 13

DRAGAGES DE LA RADE DE PORT-SAÏD.

Notes présentées à l'Académie des sciences par M. F. de Lesseps (26 avril, 4 octobre 1875).

Le chenal d'entrée de Port-Saïd, ouvert dans une plage sablonneuse, est protégé par deux jetées contre les apports de sable ou de galets que les courants apportent constamment : ces courants, et par suite les apports, sont presque toujours dirigés dans le même sens, de l'ouest vers l'est sous l'impulsion du grand courant littoral méditerranéen et sous celle des vents dominants. En raison de cette situation, le chenal, qui d'ailleurs ne subit l'influence que d'une marée de 0m,30, a été principalement défendu du côté ouest par une jetée plus longue et plus forte que celle de l'est. Cette jetée, qui doit atteindre une longueur de 3.000 mètres et qui n'a-vait que 2.500 mètres jusqu'en octobre 1873, est constituée par des blocs artificiels d'un volume de 10 mètres cubes et doit atteindre jusqu'aux fonds de 9 mètres.

Vers le milieu de 1873 et pendant que l'on se préparait à prolonger la jetée, on décida d'employer le dragage pour obtenir l'enlèvement des apports qui tendaient à réduire les profondeurs nécessaires en tête du chenal. Une puissante drague à formes marines et capable de fonctionner au milieu de l'agitation des vagues a été placée en septembre 1873, à l'embouchure du chenal d'entrée, et a creusé, en dehors des jetées, dans le prolongement de ce chenal, une fouille d'environ 800 mètres de longueur sur 100 de largeur et d'une profondeur maximum de 1m,50. Cette fouille, qui ne s'est pas maintenue intacte, a cependant réussi, en ce sens que si elle a été en partie remblayée pendant les mauvais temps d'hiver, ce résultat a été obtenu aux dépens des régions environnantes : il est resté, en somme, après ce nivellement

de l'emplacement dragué, une dépression plus étendue, mai moins profonde, représentant l'effet utile définitif du travail de drague marine.

Sous l'influence de ces dragages qui seront continués, et d'un allongement convenable de la jetée ouest, la situation s'est amé- liorée. Les fonds de 9 mètres qui s'éloignaient progressivement du rivage s'en sont rapprochés de 250 mètres au devant du pied de jetée ; les sondages faits en juillet 1875 montrent que la rade s'est encore améliorée et que la courbe des profondeurs de 9 mèt forme à l'entrée du chenal une vaste baie de 1 kilomètre de lar- geur environ.

En résumé cette drague, qui a coûté 700.000 francs, a dragué rade du 13 septembre au 31 décembre 1873 un cube de 73.324 m tres cubes; du 30 avril au 7 novembre 1874 un cube de 179. soit en totalité 253.177 mètres cubes; de plus elle a extrait cube de 225.509 mètres cubes sur un banc adossé à la surface de la jetée pour dégager celle-ci en vue de son rechargement. engin travaillant dans un terrain d'apport sablonneux et argil parfois très-compacte a produit en moyenne en rade 100 par heure de marche effective ; les arrêts pour causes dive réduisent le rendement à 91 mètres cubes par heure de cha Dans les bassins ou à l'abri des jetées, ces chiffres deviennent res- pectivement 183 mètres cubes et 150 mètres cubes. Le mètre cu extrait est revenu en moyenne à 1f,40, et ce prix peut attein 2 francs en comprenant l'amortissement du matériel.

Les conditions auxquelles doit satisfaire une drague mar sont naturellement indiquées par les épreuves qu'elle a à subir la mer : elle doit avoir beaucoup de stabilité, des organes trè robustes, une coque à formes marines, deux hélices mues par machines indépendantes pour pouvoir évoluer facilement et ren trer rapidement au port en cas de tempête; enfin son échelle godets doit être suffisamment inclinée en travail pour que mouvements verticaux de levée et de descente que les lames im priment à la coque n'occasionnent pas de chocs dans les poin d'attache de cette élinde.

La drague qui a été employée à Port-Saïd est très-stable à mer et les lames courtes ne sont pas capables d'interrompre so travail toutes les fois que les porteurs peuvent accoster. En donnant aux porteurs comme à la drague des coques très-robustes et de bonnes ceintures, l'observation a montré que des lames de plus de $0^m,70$ ne peuvent faire obstacle aux dragages en mer, en dehors de tout abri.

EMPLOI DE LA DYNAMITE DANS LES TRAVAUX DE ROCTAGE ET DE DÉMOLITION D'OUVRAGES EN MAÇONNERIE.

Le n° 24 du *Mémorial de l'officier du génie* contient deux mémoires sur la dynamite, mémoires intéressants à des points de vue différents et qu'il convient au moins de signaler : le premier rend compte de travaux de roctage qui ont été exécutés au fort de la Croix-Faron sous la direction de M. le capitaine du génie Sadoux ; ces travaux, dans lesquels on opéra sur de grands cubes de déblais pour arriver à des résultats certains, avaient pour but de se rendre compte des avantages que pourrait présenter l'emploi de la dynamite sur la poudre de mine au double point de vue du prix de revient et du temps employé : les conditions d'emploi de ces deux substances et aussi du coton-poudre comprimé furent choisies autant que possible dans des conditions comparables. Ces expériences durèrent près de vingt mois et donnèrent lieu, y compris les opérations préparatoires, à un déblai total de 2.500 mètres cubes : on avait consommé 1.100 kilogrammes de poudre de mine, [illegible]80 de coton-poudre comprimé, et 1.000 kilogrammes de dynamites ; il avait été fait 22.000 explosions représentant 9.000 mètres courants de forage.

Nous ne pouvons entrer dans le détail des observations diverses qui ont été rassemblées à la suite de ces expériences ; nous ne pouvons que renvoyer au mémoire original qui présente nombre de détails intéressants sur les diverses phases des opérations et nous devons nous borner à reproduire ici les principales conclusions : L'emploi comparé des dynamites, du coton-poudre comprimé et de la poudre de mine a montré que, *dans les percements de puits et de galeries*, il y a avantage (la question du dosage étant réservée) de se servir soit de dynamites à base inerte et *saturées* (sans cependant être exsudantes), soit de coton-poudre comprimé, pourvu qu'on amorce avec 1 gramme de fulminate et qu'on emploie autant que possible des charges ou tout au moins des cartouches-amorces dégelées : en été des amorces de 0gr,50 suffiraient. Dans les attaques isolées et surtout pour le percement des galeries de faible section, il est avantageux de mettre le feu avec la mèche ; dans les autres cas, le cordeau Bickford est à préférer. Il convient de bourrer toutes les fois qu'on le peut.

Dans la conduite du travail, on ne doit employer pour le creusement des galeries, *surtout dans les rocs durs*, que des coups nombreux et peu profonds. Il y aura avantage et généralement

économie, dans l'exécution des galeries à grande section, à faire usage simultanément des dynamites et de la poudre de mine, en opérant par brigades séparées.

Enfin l'outillage doit être du diamètre de $0^m,025$, pour les trous destinés à recevoir des charges de dynamite.

Quand toutes ces conditions seront réunies, on pourra raisonnablement compter que le travail à la dynamite donnera de bons résultats et, par comparaison avec des roctages de même nature exécutés exclusivement à la poudre de mine, produira une économie de temps qui pourra être considérable et qui atteindra en *moyenne* 40 p. 100.

En ce qui concerne les *déblais de roc en tranchées*, on ne saurait être aussi affirmatif pour conseiller l'emploi exclusif de la dynamite, eu égard au prix élevé actuel des dynamites : le mieux serait sans doute de combiner les deux systèmes et de n'employer dans ce cas la dynamite que là où les effets de la poudre seraient insuffisants.

Le second mémoire que nous voulons signaler donne, d'après un travail de M. Julius Vogl, major du génie autrichien, des renseignements sur le poids des charges de dynamite Mobl n° 1 (à base de silice et contenant environ 75 p. 100 de nitroglycérine) à employer pour la rupture des maçonneries. Ces renseignements numériques, ainsi que l'indication des placements à adopter pour les charges suivant la nature de l'ouvrage, résultent d'expériences qui ont été faites à Linz de 1871 à 1873 sous la direction du Comité militaire, technique et administratif autrichien.

CONSOLIDATION DE REMBLAIS ARGILEUX.

Les fossés de l'enceinte en terre du faubourg de Torcy, à Sedan, ont été creusés dans un sol composé à la partie supérieure de $0^m,50$ à $0^m,70$ de terre végétale, au-dessous de laquelle on rencontre une terre marneuse rougeâtre mélangée de cailloux roulés sur une épaisseur de 2 à 3 mètres, reposant sur un sous-sol de l'étage liasique formé de couches minces et alternatives de marne grise et de calcaire marneux de mauvaise qualité. Lors de l'exécution du remblai du parapet, les terres provenant de la fouille furent déposées dans l'ordre inverse de leur gisement, de telle sorte que les marnes du lias recouvrirent toutes les autres terres. Au-dessous du sol naturel, le talus extérieur fut recoupé dans le terrain vierge et au-dessus il fut élevé par assises réglées, de manière à pré-

senter à la surface une couche de terre végétale de $0^m,30$ à $0^m,40$ d'épaisseur ensemencée de chiendent.

Pendant l'hiver et avant même que les travaux fussent terminés, on observa de nombreux glissements qu'on essaya d'empêcher par l'emploi de divers procédés qui ne donnèrent pas de bons résultats, sauf dans un talus dans la construction duquel on avait disposé entre la masse argileuse du parapet et la couche de terre végétale qui le recouvrait une couche de calcaire sableux, en ayant soin d'y organiser, au moyen de pierres, des chaînes d'écoulement pour les eaux. Cette circonstance donna à M. le commandant Massu l'idée de préserver du contact de l'eau la masse argileuse du parapet, et voici la disposition qu'il adopta dans ce but :

Après avoir enlevé toutes les terres éboulées, on tailla dans la partie affermie du terrain argileux des gradins de $0^m,70$ de hauteur, présentant à leur partie supérieure une légère pente vers le fossé ; on ménagea de nombreuses rigoles en pierre destinées à conduire les eaux jusqu'à la surface du perré qui garnissait la partie inférieure du talus, puis on remplit de gravier toute la partie comprise entre les gradins et un plan parallèle à celui du talus et situé à $0^m,30$ au-dessous. On monta ensuite le talus en même temps que le remblais de gravier en ayant soin de bien damer le tout et d'ensemencer le talus.

Ces travaux exécutés en 1853 et des talus consolidés à Rocroy par le capitaine Loisy en employant les mêmes dispositions étaient dans un bon état de conservation en janvier 1874. Les moyens de consolidation que nous venons d'indiquer paraissent donc avoir reçu la sanction de l'expérience.

(D'après un article inséré dans le *Mémorial de l'Officier du génie*, n° 24, p. 370.)

RÉPARATION DE MAÇONNERIES PAR L'INJECTION DE MORTIER CLAIR OU DE CIMENT.

Le Mémorial de l'officier du génie (n° 24, p. 378) contient l'indication de quelques résultats obtenus par l'injection de mortier clair ou de ciment dans des maçonneries qu'on voulait réparer. Ce procédé a déjà été employé d'ailleurs dans les travaux des ponts et chaussées, notamment à l'écluse de la Floride, au Havre, et dans l'écluse du port de Calais.

A Longwy, les voûtes des souterrains construits sous un terre-plein au-dessus desquels s'élevait un cavalier d'un grand relief laissaient passer beaucoup d'eau à la suite des grandes pluies et

des dégels; on n'aurait pu remanier les chapes qu'à la condition d'exécuter un déblai considérable pour mettre l'extrados à découvert; on se décida en 1860, pour effectuer des réparations devenues nécessaires, à pratiquer l'opération suivante : des ouvertures carrées de $0^m,12$ à $0^m,15$ furent pratiquées dans les voûtes et dans les parements des pieds-droits aux points où le bruit produit par un choc indiquait l'existence de vides : on évida, d'autre part, de distance en distance les joints des maçonneries; puis, par ces diverses ouvertures, on injecta du mortier de ciment très fin et un peu clair, au moyen d'une seringue du genre de celle dont on se sert pour nettoyer les voitures, mais terminée par un canal étroit. On est parvenu à introduire ainsi de 2 à 8 seaux de mortier par chaque orifice; on a réparé ensuite les cavités que l'on avait pratiquées en y introduisant du béton. Lorsque la prise des mortiers a été jugée suffisante, on a évidé profondément tous les autres joints et on les a remplis d'un mortier de ciment de Vassy composé d'une partie de sable de rivière pour une partie de ciment.

Ces réparations ont parfaitement réussi, car en mars 1875, on a constaté que les souterrains où elles ont été faites sont parfaitement secs.

Un procédé analogue fut appliqué en 1857 et 1858 pour remplir des lézardes qui s'étaient formées dans une casemate et pour boucher quelques fissures que l'on avait constatées à la naissance d'une voûte récemment décintrée dans un magasin à poudre. Suivant le mode adopté pour réparer le radier de l'écluse d'entrée du bassin de la Floride, au Havre, on employa un tuyau de zinc de $0^m,04$ de diamètre et de 2 à 3 mètres de hauteur. L'extrémité supérieure était terminée par un entonnoir dans lequel on versait du ciment Portland délayé en bouillie très-claire; l'extrémité inférieur était introduite dans la partie crevassée de la maçonnerie et y était scellée avec un ciment à prise rapide. On ne retirait le tube où l'on maintenait le niveau du liquide aussi élevé que possible que lorsque l'on avait constaté un commencement de prise. Quand les crevasses parurent suffisamment remplies, on boucha tous les vides et l'on refit les joints et les enduits.

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS. — STATISTIQUE.

États-Unis. — Le *Poor's Manual of the Railroads of the United States for* 1875-1876 fournit les chiffres suivants sur l'état actuel des chemins de fer aux États-Unis :

Le nombre de kilomètres, qui était de 106.000 en 1873, s'est élevé à 115.000 en 1874; le capital engagé était respectivement de 19.400 millions et de 21.600 millions de francs. Le prix moyen du kilomètre, qui était de 183,000 fr. en 1873, a atteint 188.000 fr. en 1874.

Les recettes des chemins de fer ainsi que la manière dont elles se décomposent, etc., sont fournies par le tableau suivant :

	1874.	1873.
	francs.	francs.
Recettes brutes.	2.660.000.000	2.900.000.000
— nettes.	970.000.000	940.000.000
Marchandises, messageries.	1.940.000.000	2.000.000.000
Voyageurs.	720.000.000	690.000.000

Les dividendes distribués en 1873 et 1874 sont respectivement 345 millions et 344 millions de francs et correspondent à 4,07 et 3,39 p. 100 du capital engagé.

La situation financière fâcheuse révélée par ces chiffres paraît être la conséquence de l'extension de la construction au delà des besoins du moment.

Angleterre. — Il résulte d'un rapport publié par le *Board of Trade* que, à la fin de 1874, il y avait en Angleterre 26.466 kilomètres de chemins de fer ; dans ce chiffre, les chemins à une seule voie entrent pour 12.389 kilomètres, tandis que les chemins à deux voies comprennent 14.077 kilomètres. Le capital engagé est évalué à 15.247 millions de francs. En 1854 le capital n'était que de 7.152 millions ; la dépense annuelle de construction de chemins de fer a donc dépassé 150 millions en Angleterre.

Russie. — Il résulte d'un rapport du ministre des travaux publics de Russie que la longueur des lignes de chemins de fer en exploitation (abstraction faite des chemins de fer de Finlande qui ne dépendent pas du ministère) s'est élevée de 16.209 kilomètres à 18.072 pendant l'année 1874. Les recettes brutes, qui en 1873 étaient de 481.895.764 francs, ont été de 579.900.453 francs en 1874, ce qui correspond à 32.102 francs par kilomètre en 1873 et 32.985 francs par kilomètre en 1874.

Indes. — Les *Annales industrielles* donnent les renseignements suivants extraits d'un rapport officiel sur les chemins de fer des possessions britanniques dans l'Inde.

Il y avait aux Indes, à la fin de l'année 1873, 9.448 kilomètres de

chemins de fer livrés à l'exploitation ; la dépense totale est évaluée à 2.425 millions de francs, soit en moyenne 257.000 francs par kilomètre ; 1.170 kilomètres sont à double voie, et sur 9,212 kilomètres, la largeur de la voie est de 1.675.

A la même époque 2.977 kilomètres étaient en construction ; 1.315 kilomètres auront la voie large (1m,675) et 1.662 la voie étroite de 1 mètre.

En 1873 le réseau indien a été augmenté de 502 kilomètres.

En 1873 le nombre des voyageurs transportés a été de 22.243.220 contre 20.332.823 en 1872 ; le produit a été respectivement 59.148.550 francs contre 54.862.875. Le trafic des marchandises a eté de 3.266.062 tonnes, celui des minéraux de 669,826, et les recettes respectives ont été de 107.350.000 francs et 99.115.350 fr.

Les accidents arrivés aux trains de voyageurs pendant cette année sont ainsi classés : 15 collisions, 20 déraillements, 26 incendies, 165 rencontres et 34 accidents divers. Il y a eu 438 victimes ; 96 étaient des voyageurs et 236 des employés, les autres victimes étaient des personnes en contravention sur la voie ; 13 voyageurs et 74 employés ont succombé à leurs blessures.

Tramways. France. — Le *Journal officiel* contient l'état suivant relatif aux lignes de tramways concédés à la date du 1er octobre 1875 :

DÉSIGNATION.	DATE des concessions.	LONGUEURS concédées.	LONGUEURS en exploitation.	LONGUEURS en construction.
		mètres.	mètres.	mètres.
Du Louvre à Sèvres.	18 février 1854.	11 673	11.673	»
Du Louvre à Saint-Cloud. .	18 février 1854 et 11 nov. 1874.	10.077	10.077	»
Du Louvre à Vincennes. . .	18 février 1854.	7.500	7.500	»
De Rueil à Port-Marly. . . .	15 juillet 1854.	7.100	7.100	»
De Sèvres à Versailles. . .	28 avril 1855. .	9.225	9.225	»
Ville de Paris.	9 août 1873. . .	105.300	18.500	30.300
Ville de Lille.	4 octob. 1873 et 12 mars 1875. .	30.651	15.615	»
Ville du Havre.	4 octob. 1873 et 27 août 1875. .	10.050	7.870	400
Ville de Nancy.	23 mars 1874. .	4.357	4.357	»
Ville de Versailles.	30 mai 1874. . .	12.415	»	»
Ville de Marseille.	19 sept. 1874. .	23.682	»	6.659
Ville de Nice.	9 sept. 1875. .	12.440	»	»
Ville de Dunkerque.	14 sept. 1875. .	4.000	»	»
Totaux.		248.470	91.917	37.359

N° 14

NOTE

SUR LA

PROPRIÉTÉ DES ALLUVIONS DITES ARTIFICIELLES

Par M. SCHLEMMER, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Considérations préliminaires.

ANTÉCÉDENTS. — RAPPEL DE QUELQUES PRINCIPES DE DROIT APPLICABLES A LA QUESTION.

1. *Objet de la note.* — A qui, de l'État ou du riverain, doit être attribuée la propriété d'une alluvion qui se forme par suite de la construction, par l'État, d'une digue ou d'un ouvrage d'art dans le lit d'un cours d'eau du domaine public?

Cette question, très-controversée, n'arrive à être posée dans les termes simples et péremptoires ci-dessus qu'entre partisans et adversaires systématiques de l'attribution de propriété faite exclusivement soit à l'État soit au riverain. Il convient de la formuler d'une façon plus réservée et de préférence dans les termes suivants : Dans quelles conditions l'État revendiquera-t-il utilement, devant l'autorité judiciaire, la propriété d'une alluvion artificielle ?

L'objet de la présente note est de rechercher au point de vue de la législation existante, et d'après les plus récents documents de la jurisprudence, quelle réponse peut être donnée à la question ainsi posée (*).

(*) A ce sujet difficile et par le côté qui n'en est pas le moins

2. Le Code civil ne s'occupe pas explicitement des alluvions dites artificielles, et il n'est pas rare d'entendre dire que cet oubli constitue l'une des principales difficultés du sujet. Nous verrons plus loin, § 11, ce qu'il faut penser de cette prétendue lacune de la législation ; quant aux difficultés de la question, elles sont, en effet, incontestables pour quiconque a eu à consulter les arrêts intervenus sur cette matière.

3. *Commission nommée en 1849 pour étudier la question de propriété des alluvions artificielles.* — Le Gouvernement et les Chambres ont songé à lever ces difficultés. Des quatre projets de loi qui ont été successivement proposés, le dernier, celui de 1842, a été dans le sein d'une commission de la Chambre des pairs, l'objet d'une discussion longue et approfondie. Aucun des projets présentés n'a reçu la sanction législative. En 1849-1850, à l'occasion d'une proposition de la chambre de commerce de Rouen tendant à l'interprétation, par une loi, des articles du Code civil relatifs à la propriété des alluvions, le ministre des travaux publics a institué une commission (*) pour étudier le

---

compliqué, se rattache intimement la question de la délimitation des fleuves et rivières navigables ; les *Annales des ponts et chaussées de* 1874, 10e cahier, ont bien voulu accueillir une note que nous avons rédigée sur cette question. Nous avons, tout d'abord, besoin de nous y référer pour diminuer d'autant les développements relatifs à l'ensemble de la matière.

(*) La commission était composée de MM. de Vatiménil, de Seze, Gasc, Lefebvre-Duruflé, membres de l'Assemblée législative ; — Lemire, président de la chambre de commerce de Rouen ; — Zédé, ancien maître des requêtes, ancien préfet ; — Tournus, directeur de l'enregistrement et des domaines ; — Jurien, commissaire général de la marine ; — Mallet, Frissard, inspecteurs divisionnaires des ponts et chaussées ; — de Franqueville, ingénieur en chef, chef de division au ministère des travaux publics ; — Dumoustier, chef de bureau au ministère des travaux publics, secrétaire.

Les discussions approfondies qui ont porté, dans le sein de cette commission, sur tous les points importants de fait et de droit, de

vœu formulé par la chambre de commerce ; le but spécial de ce vœu était de faire attribuer à l'État la propriété des alluvions considérables formées ou consolidées derrière les endiguements de la basse Seine entrepris par l'État en 1846. et dont il a poursuivi les travaux depuis cette époque.

Il s'agissait de 15.000 hectares pouvant, suivant l'exposé de ladite proposition, valoir 60 millions, dont la rentrée au trésor, déduction faite des dépenses d'exécution des endiguements, devait permettre d'entreprendre d'autres travaux très-importants pour la navigation.

Selon la chambre de commerce de Rouen, il faut diviser les alluvions qui se forment dans les cours d'eau du domaine public en deux catégories, savoir :

---

l'attribution de propriété des alluvions, sont d'un très-grand intérêt et de nature à être consultées avec fruit, en tout temps. Il est regrettable que les procès-verbaux des douze séances de la commission n'aient été autographiés qu'à un si petit nombre d'exemplaires qu'ils sont, aujourd'hui, presque introuvables. Avant tout, la commission avait à donner son avis sur la proposition de la chambre de commerce de Rouen ; les délibérations auxquelles elle a donné lieu ont eu pour effet de la faire retirer par le président de ladite chambre de commerce, membre de la commission. Nous donnons, dans le corps de la présente note, un extrait du rapport de M. de Vatiménil, résumant et présentant au ministre le travail de la commission. Il conclut à la mise en application des articles 30, 31 et 32 de la loi du 16 septembre 1807 et produit, en outre, en vue des applications à faire, un projet de règlement d'administration publique d'un caractère général, en 80 articles. Ce règlement n'a pas été sanctionné jusqu'ici ; en 1854, la section des travaux publics du Conseil d'État avait été appelée à examiner la partie de ce projet de règlement relative à la délimitation du lit des cours d'eau, et a conclu à ce qu'elle ne soit pas adoptée. Malgré le résultat négatif de cette partie de son travail, les délibérations de la commission conservent, nous le répétons, un très-grand intérêt, et ont visiblement inspiré l'administration dans les transactions intervenues, en grand nombre déjà, notamment sur la Garonne, entre le gouvernement et les riverains, pour la cession anticipée à ceux-ci, à titre onéreux, d'alluvions encore imparfaites, provoquées par des travaux qui étaient, en tout ou en grande partie, à la charge de l'État.

Les *alluvions naturelles* qui résultent de l'action continue et insensible des eaux et qui ne sont pas déterminées par des travaux publics;

Et les *alluvions artificielles* qui ont, au contraire, pour cause des travaux exécutés par l'État.

Les alluvions naturelles, pense-t-elle, doivent seules accroître les propriétés riveraines, et les alluvions artificielles doivent appartenir à l'État, par le double motif que ces alluvions ont pour cause des travaux exécutés au moyen des fonds du trésor et que le lit de la rivière fait partie du domaine public; tel est, à son avis, le sens ou l'esprit de l'article 556 du Code civil, et elle demandait qu'une loi interprétative le déclarât.

La commission a repoussé formellement cet avis. Elle déclare qu'après avoir parcouru les monuments de la jurisprudence qui s'y rapportent, elle est demeurée convaincue que cette jurisprudence attribue, dans tous les cas, aux riverains la propriété des alluvions, et qu'elle rejette toute distinction entre les alluvions naturelles et les alluvions artificielles.

Suivant la commission, « une loi qui déclarerait que « l'article 556 n'est pas applicable à l'alluvion artificielle, « dépasserait les limites de l'interprétation et changerait la « règle existante : d'une part, elle ne pourrait, sans violer « le principe de la non-rétroactivité, régir les alluvions qui « se seraient formées ou auraient commencé à se former « antérieurement à sa promulgation, et ainsi, elle n'attein- « drait pas complétement le but indiqué par la chambre « de commerce; d'autre part, en considérant même une « loi de cette nature comme statuant uniquement pour « l'avenir, il serait difficile d'en obtenir l'adoption. Les « modifications au Code civil ont, en général, peu de suc- « cès. Celles dont il s'agit en auraient d'autant moins que « l'article 556 n'a fait que conserver une règle qui a existé « à toutes les époques et qui est adoptée dans tous les

« pays. D'ailleurs, s'il est contraire à l'équité d'attribuer, « intégralement et sans indemnité, aux riverains d'un « fleuve, des alluvions qui ont été déterminées ou favori- « sées par des travaux exécutés au moyen du trésor public, « il ne le serait pas moins de les attribuer en totalité au « domaine de l'État. Avant l'alluvion, les riverains avaient « l'avantage d'avoir des propriétés contiguës au cours d'eau « et, dans le système proposé, ils se trouveraient, sans « aucune compensation, privés de cet avantage; ils avaient « la chance de profiter des alluvions naturelles qui auraient « pu se former indépendamment de tous travaux d'art, et « on leur enlèverait cette chance; les alluvions qu'ils pou- « vaient espérer étaient peut-être le dédommagement de « terrains que le fleuve avait enlevés à une époque anté- « rieure, et on les frustrerait de ce dédommagement éven- « tuel. Une semblable innovation serait probablement re- « poussée par le pouvoir législatif. Sous tous les rapports, « on doit renoncer à la proposer.

« Résulte-t-il de là que l'État qui, par ses travaux et « ses dépenses, a déterminé ou favorisé les alluvions, ne « doive aucunement profiter de cet accroissement de valeur, « et que les riverains soient appelés à recueillir, d'une « manière tout à fait gratuite, un avantage dont la créa- « tion n'est due ni à leurs capitaux ni à leur industrie?

« Non, il ne saurait en être ainsi, et si la législation « existante n'y avait pas pourvu, il faudrait nécessairement « remplir cette lacune en proposant une loi qui établirait, « entre l'État et les riverains, un partage équitable des « bénéfices résultant de l'alluvion artificielle.

« Mais, heureusement, cette loi n'est pas à faire; elle « est faite, il ne s'agit que de l'appliquer. »

Le rapport du président de la commission dont nous venons de donner un extrait reproduit alors, *in extenso*, le texte des articles 30, 31 et 32 de la loi du 16 septembre 1807, et il ajoute :

« Il est impossible de douter que ces dispositions ne « soient applicables à l'avantage que procurent aux rive- « rains d'un fleuve, des alluvions produites par des tra- « vaux exécutés au moyen des fonds de l'État. Les expres- « sions : *tous autres travaux publics*, etc., employées dans « l'article 30, comprennent évidemment, dans leur géné- « ralité, les travaux d'endiguement exécutés dans un fleuve « ou une rivière. Les mots : *lorsque... des propriétés pri- « vées auront acquis une notable augmentation de valeur*..., « s'appliquent d'une manière incontestable à des fonds « riverains dont la contenance et, par conséquent, la « valeur s'est accrue par l'effet d'une alluvion. Au sur- « plus, dans la discussion parlementaire à laquelle a donné « lieu, en 1842, la proposition de MM. Jaubert, Teste et « Ménard, il a été reconnu, même par les orateurs qui com- « battaient le système d'attribution à l'État de la propriété « des alluvions, que les articles 30, 31 et 32 de la loi de « 1807 sont applicables et que les riverains sont tenus « d'acquitter *l'indemnité* prévue par ces articles. »

Voici les termes dans lesquels le rapport de M. Vatiménil a, en définitive, conclu sur la proposition de la chambre de commerce de Rouen :

« La propriété des alluvions appartient aux riverains, « mais, lorsque ces alluvions ont pour cause des travaux « exécutés par l'État et à ses frais, les riverains sont tenus, « envers lui, d'une indemnité dont la quotité peut varier « selon les circonstances, mais dont le *maximum* est fixé « à la moitié de l'accroissement de valeur que la propriété « a obtenue, et cette indemnité doit être acquittée de l'une « des trois manières énoncées dans l'article 31 de la loi de « 1807. L'État, pour obtenir cette indemnité, n'a donc plus « besoin d'être armé de nouvelles dispositions législatives : « la loi de 1807 lui suffit. Il peut, dans chaque cas parti- « culier, prendre la décision spéciale prévue par l'arti-

« de 32 de cette loi, et déterminer ainsi la quotité de l'in-
« demnité à fournir par les riverains. »

4. *Objet de la note en ce qui touche la jurisprudence de l'autorité judiciaire.* — Le précédent paragraphe met en présence l'un de l'autre les deux systèmes d'attribution de propriété des alluvions artificielles. A côté des considérations d'équité mises en relief en faveur du droit des riverains, la commission de 1849 invoque, à l'appui de son avis, la jurisprudence de l'autorité judiciaire comme repoussant *absolument* toute distinction entre les alluvions naturelles et les alluvions artificielles.

Cette distinction n'est-elle pas admise, au contraire, dans des arrêts postérieurs à ceux que la commission de 1849 a été à même de connaître? La réponse affirmative à cette question a ses partisans, et nous l'avons mentionnée dans notre note sur la délimitation des cours d'eau (*Annales des ponts et chaussées*, cahier d'octobre 1874, p. 258 et 259), lorsque nous avons eu à citer les arrêts de la Cour de cassation du 8 décembre 1863 et du 7 avril 1868 et un arrêt de la Cour d'appel de Bordeaux du 4 avril 1870.

Or on est, croyons-nous, facilement entraîné à dépasser la mesure de ce qu'il y a de réellement fondé dans cette appréciation, consistant à penser que l'autorité judiciaire a modifié, dans ces derniers temps, sa jurisprudence antérieure, qu'elle admet aujourd'hui la distinction qu'elle repoussait autrefois entre les alluvions artificielles et les alluvions naturelles, et qu'elle attribue la propriété des premières intégralement à l'État, lorsqu'elles ont été provoquées par les travaux de l'État. D'un autre côté, quand les partisans du système opposé affirment que la jurisprudence attribue les alluvions exclusivement au riverain, dans tous les cas, et quelles que soient les circonstances de leur formation, et quand ils prétendent que cela est admis par l'administration elle-même, puisqu'elle se borne à récla-

mer, lorsqu'il y a lieu, une indemnité de plus-value, nous sommes porté à croire que là, aussi, on formule une conclusion exagérée, et qu'elle résulte du défaut de précision des termes dans lesquels on traduit le sens de la jurisprudence en vigueur. C'est le double objet de cette note, de justifier, par l'analyse des monuments de la jurisprudence, que l'on s'expose, en effet, au danger que nous venons de signaler, de dépasser la juste mesure dans un sens ou dans l'autre, quand on ne contrôle pas rigoureusement l'expression du sens attribué à la jurisprudence, par les principes mêmes qui dominent la matière, et d'essayer, ensuite, de formuler le sens de cette jurisprudence, tout en ne nous dissimulant pas, d'ailleurs, que l'expression en restera encore imparfaite, et qu'il faut se contenter, dans ces délicates questions, de décisions d'espèces, à défaut d'une doctrine précise.

5. *Bases légales des droits respectifs du riverain et de l'État.* — Les bases principales des droits respectifs du riverain et de l'État sont, d'une part, les articles 556 et 557 du Code civil et, d'autre part, l'article 560 dudit Code et l'article 41 de la loi du 16 septembre 1807. Pour plus de facilité dans la lecture de cette note, nous en rappelons le texte ci-dessous (*).

(*) « Art. 556 C. civ. Les atterrissements et accroissements qui « se forment *successivement* et *imperceptiblement aux fonds riverains* d'un fleuve ou d'une rivière, s'appellent *alluvions*.

« *L'alluvion profite au propriétaire riverain*, soit qu'il s'agisse « d'un fleuve ou d'une rivière navigable, flottable ou non, à la « charge, dans le premier cas, de laisser le marchepied ou chemin « de halage, conformément aux règlements.

« Art. 557. Il en est de même des relais que forme l'eau courante qui se retire *insensiblement* de l'une de ses rives, en se « portant sur l'autre; *le propriétaire de la rive découverte profite* « *de l'alluvion*, sans que le riverain du côté opposé y puisse venir réclamer le terrain qu'il a perdu.

Ce droit n'a pas lieu à l'égard des relais de la mer.

« Art. 560. *Les îles, îlots et atterrissements* qui se forment

Les articles 556 et 557 établissent, au profit des riverains, le droit de faire des conquêtes sur le domaine public fluvial, et définissent le double mode suivant lequel cette conquête est admise comme légitime ou légale. L'un de ces modes, celui des *relais* que prévoit et définit l'article 557 (en signalant toutefois la différence avec les relais de la mer), consiste dans le phénoméne où l'eau courante se retire *insensiblement* de l'une de ses rives pour se porter sur l'autre. L'article 557 donne au relais le nom d'alluvion, et l'attribue exclusivement au propriétaire de la rive découverte.

Le deuxième mode est celui de l'*alluvion* formée par atterrissement et assimilable aux *lais* de mer.

Le premier paragraphe de l'article 556 en donne la définition et a une importance capitale dans toute cette matière. L'alluvion est dans ce cas un atterrissement, un dépôt de matières qui accroissent le fonds riverain d'une façon *successive et imperceptible*; nous ferons remarquer, dès à présent, avec la prévision d'avoir à y insister plus loin, que ces deux derniers mots excluent l'idée d'une action *subite*, *apparente* et *appréciable*, dans le phénomène de l'atterrissement, pour que la conquête faite sur le domaine public fluvial appartienne légalement au riverain ; ce qui n'est pas moins caractéristique, c'est que dans le langage du Code et de la loi de 1807, le mot *atterrissement* a un sens plus large que celui d'*alluvion*, et que l'atterrissement ne devient une alluvion que lorsqu'il remplit les conditions prévues dans la définition légale de celle-ci.

« dans le lit des fleuves ou des rivières navigables ou flottables « *appartiennent à l'État*, s'il n'y a titre ou prescription contraire. »

« Art. 41 de la loi du 16 septembre 1807. *Le Gouvernement concédera aux conditions qu'il aura réglées*, les marais, lais, relais « de la mer, *le droit d'endigage*, *les accrues*, *atterrissements* « et alluvions des fleuves, rivières et torrents, quant à ceux de ces « objets qui forment *propriété publique ou domaniale.* »

Suivant la conception théorique qui semble avoir présidé à la définition légale des deux modes de formation de l'alluvion, on voit que le second mode diffère du premier, en ce que ce n'est plus l'eau courante qui se retire insensiblement, c'est la rive qui s'accroît imperceptiblement dans le lit du fleuve, parce que les matières déposées par le fleuve et adhérentes à la rive émergent en formant comme un prolongement de la rive aux dépens du domaine public fluvial.

Le droit du riverain ainsi consacré par les articles 556 et 557 du Code civil, a principalement sa source dans la compensation que le législateur a entendu accorder au riverain, pour le dommage que les eaux lui font parfois subir. Le fleuve n'est pas toujours bienfaisant; il donne, mais souvent aussi il enlève. Voici comment, en effet, s'exprime à ce sujet M. Portalis dans l'exposé des motifs du Code civil, titre de la Propriété :

« Les alluvions doivent appartenir au propriétaire riverain, par cette maxime naturelle que le profit appartient « à celui qui a été exposé à souffrir le dommage dont les « propriétés riveraines sont menacées plus qu'aucune « autre. Il existe, pour ainsi dire, une sorte de contrat « aléatoire entre le propriétaire du fonds riverain et la na- « ture dont la marche peut à chaque instant ravager ou « accroître ce fonds. »

On soutient aussi, et non sans raison, que le droit du riverain a, ici, son principe générateur dans l'article 546 du Code civil, aux termes duquel le propriétaire d'une chose a droit sur tout ce qui s'y unit *accessoirement, soit naturellement, soit artificiellement*. En effet, l'article 546 fait partie du titre II du Code civil intitulé : « De la propriété », il est suivi, au chapitre II, intitulé : « Du droit d'accession » de l'article 551 qui porte :

« Art. 551. Tout ce qui s'unit et s'incorpore à la chose « appartient au propriétaire, suivant les règles qui se-

« ront ci-après établies;... » et, parmi ces règles ainsi visées, nous trouvons à la section I, intitulée « Du droit d'accession relativement aux choses immobilières », entre autres et notamment, les articles 556, 557 et 560 dont nous avons rapporté le texte ci-dessus.

Il nous semble difficile de mettre en doute que le principe général de l'article 546 trouve son développement dans la teneur des articles 556, 557 et 560.

6. Quel est ici le droit de l'État, en opposition avec celui du riverain? C'est ce que l'ordre naturel, dans la recherche des bases légales de ces droits respectifs, nous conduirait maintenant à examiner, en nous arrêtant d'abord sur l'article 560 du Code civil et sur l'article 41 de la loi du 16 septembre 1807. Mais, au préalable, nous devons rappeler quelques notions fondamentales sur l'État, sur le domaine public et sur le domaine de l'État, parce que c'est en définitive dans ces principes généraux qu'on trouve le guide le plus sûr et, selon nous, le seul guide pour se diriger dans ces questions délicates où les difficultés d'espèce viennent s'ajouter à celles qui résultent de la contradiction des doctrines.

7. ***Rappel des notions de principes sur le domaine public et sur le domaine de l'État.*** — Le domaine public est défini par la loi domaniale du 22 novembre-1er décembre 1790 et par le Code civil, article 538, « *la partie du territoire français qui n'est pas susceptible de propriété privée* (*) ». Ces mots doivent être entendus en ce sens que les choses

---

(*) On consultera, avec fruit et avec intérêt, sur ces principes généraux, indépendamment du célèbre traité de Proudhon, les belles conférences de M. Aucoc, président de section au Conseil d'État, et le cours de droit administratif de M. Ducrocq, professeur à Poitiers; voir notamment la 4e édition de cet ouvrage, tome II, titre III, de l'État.

ou les biens ainsi désignés ne peuvent être la propriété de personne; que pour l'État lui-même, le domaine public n'est pas un *domaine de propriété* (expression employée par Proudhon), que cette nature de biens n'a pas la qualité de *propriété* définie par la réunion de l'*usus*, du *fructus* et de l'*abusus;* que l'État, comme il sera dit ci-après, n'en a que la garde et la gestion, avec mission de le conserver aux générations à venir. *L'idée de domanialité publique est radicalement exclusive du droit de propriété;* telle est la notion fondamentale qu'on ne doit pas perdre de vue dans la matière dont s'occupe la présente note.

Les biens, pour faire partie du domaine public, doivent, d'après l'article 538 du Code civil, remplir les trois caractères distinctifs suivants :

1° Être une portion du territoire français ;

2° Être, *par leur nature*, non susceptibles de propriété privée ;

3° Être affectés *à l'usage public* (et non pas seulement à un service public) *ou destinés à la jouissance commune.*

Dans la partie énonciative de l'article 538 du Code civil, on trouve déjà explicitement rangés dans le domaine public national, les fleuves et les rivières navigables et flottables, ainsi que les rivages de la mer, c'est-à-dire les grèves soumises à l'action ordinaire du flot, et l'enseignement du droit ne manque pas de faire ressortir que c'est en raison de l'inaptitude physique d'être susceptible de propriété privée, en raison de la résistance naturelle à l'appropriation privée, que la loi les a nominativement classés dans le domaine public.

Le trait distinctif du régime du domaine public est que *toutes ses dépendances sont frappées d'une indisponibilité complète et absolue.* (Ordonnance de Moulins, de février 1566, sous l'inspiration du chancelier de l'Hospital, enregistrée au Parlement de Paris le 13 mai 1566 ; — loi du 22 novembre-1er décembre 1790 ; — art. 538, 1598 et 2226 du

Code civil.) Habituellement on le formule en disant, comme par voie de conséquence, que le domaine public est *inaliénable* et *imprescriptible*.

8. Le *domaine de l'État* ou *domaine privé de l'État* est, au contraire, *aliénable* et *prescriptible*; il est formé d'éléments de même nature que ceux qui composent le patrimoine des particuliers (immeubles, meubles, choses incorporelles). Les biens du domaine de l'État ne sont pas affectés à l'usage du public, à la jouissance commune; ils sont, au contraire, susceptibles de propriété privée. L'État n'est pas simple détenteur, à titre de conservation et de garde, il en est *propriétaire*, et tenu seulement de respecter les modes d'acquisition, de gestion et d'aliénation qui sont propres à ce domaine (*).

Dans la partie immobilière du domaine de l'État, nous n'avons à considérer, pour le sujet qui nous occupe, que les îles, *îlots* et *atterrissements* formés dans le lit des cours d'eau navigables ou flottables, et accessoirement, pour éclairer le sujet, les *lais* et *relais* de la mer.

(*) Pour ne pas sortir des limites de notre sujet et du cadre restreint de cette note, nous renvoyons à l'ouvrage précité de M. le professeur Ducrocq, 4e édition, tome II, page 142, et aux traités généraux du même auteur, pour tous les développements relatifs à la question de l'État considéré comme propriétaire de son domaine propre.

Cet auteur range dans la partie *immobilière* du domaine de l'État : 1° les hôtels, les bâtiments divers, les domaines ruraux dont l'État tire des revenus en les affermant; 2° les sources d'eaux minérales et les établissements thermaux dont l'exploitation est concédée à titre onéreux ou faite en régie; 3° des forges, des salines et des mines de sel gemme productives d'un important revenu; 4° les *îles, îlots* et *atterrissements formés dans le lit des rivières navigables ou flottables*; 5° le sol des routes nationales délaissées comme n'étant plus affectées à l'usage public; 6° les terrains des fortifications et des remparts des places qui ne sont plus places de guerre; 7° *les lais et les relais de la mer*; 8° les bois et forêts; 9° les palais, hôtels et autres édifices nationaux affectés aux Chambres, ministères, musées, bibliothèques, etc.

tale, soit au profit du domaine de l'État, soit au profit du particulier, suivant la qualité du possesseur.

Le mot *atterrissement* employé dans l'article 560, et séparé par la conjonction *et* des mots *îles et îlots*, donne lieu quelquefois à des contestations et comporte, par suite, quelques mots d'explications.

Il ne peut s'agir évidemment, dans l'article 560, que d'atterrissements sortis du lit du cours d'eau, puisqu'on les considère comme susceptibles d'appropriation privée et que le Code en attribue la propriété à l'État. Du moment que ces atterrissements ne sont ni des îles et îlots, et le texte de l'article 560 les en distingue nettement, ni des alluvions proprement dites, puisque, dans ce cas, il aurait fallu en attribuer la propriété au riverain soit continental, soit insulaire, doit-on aller jusqu'à regretter que le législateur ait associé le mot *atterrissement* à ceux d'*îles* et d'*îlots* dans l'article 560 ? Nous ne le pensons pas, mais alors le véritable sens de ce mot, dans ledit article, ne nous semble plus susceptible que de la seule interprétation ci-après : c'est une catégorie d'alluvions formées dans des conditions autres que celles exigées par la loi pour que la propriété puisse en être attribuée au riverain par l'autorité judiciaire. Nous en donnerons plus loin des exemples caractéristiques pris, l'un dans l'arrêt de la Cour de cassation du 8 décembre 1865, et l'autre dans l'arrêt de la Cour de Bordeaux du 4 avril 1870. Dans le premier cas, c'est une portion du lit du cours d'eau, retranchée effectivement du domaine public par une rive nouvelle régulièrement constatée et constituée par une chaussée ; dans le second cas, il s'agit de matières de dépôt accumulées d'une façon apparente, appréciable, comme dans l'opération du colmatage, sorte de remblayement artificiel opéré dans une partie du lit effectivement retranchée du domaine public, par une nouvelle rive régulièrement constatée et constituée par une digue.

Comme pour le rivage de la mer, l'article 41 de la loi du 16 septembre 1807 donne à l'État, en ce qui concerne les fleuves et rivières navigables, la faculté de concéder, à titre onéreux, *le droit d'endigage ;* elle est formulée comme il suit, dans le § 1er d'un avis motivé du 5 août 1858, des sections réunies du Conseil d'État, des finances et des travaux publics :

« L'administration a le droit de déclarer que les alluvions imparfaites, faisant partie du lit des fleuves et « rivières navigables, sont inutiles au service de la navi« gation et au libre écoulement des eaux, et qu'elles peu« vent, par conséquent, être distraites du domaine public, « pour être aliénées, en toute propriété, au profit du « trésor. »

À moins de violer les principes qui fournissent les caractères distinctifs du domaine public, il nous semble incontestable qu'il ne peut être question de retrancher et d'aliéner, comme inutile à la destination du fleuve, telle ou telle portion de son lit, que si ce retranchement est effectif et matériellement réalisé, soit immédiatement, soit dans un temps nettement délimité et assez court (*). Il n'y a pas de motif pour qu'il en soit autrement ici que pour le rivage de la mer, où la charge dite de *renclôture* est la condition inséparable de la concession ou de l'aliénation anticipée de relais futurs. Cela nous semble même plus impérieusement exigé pour le bord des fleuves et rivières. Qu'on se reporte, en effet, à l'ordonnance royale du 23 septembre

(*) Le domaine public fluvial est limité par les lignes de débordement (*plenissimum flumen*). Or ces lignes doivent exister réellement et non fictivement. Elles sont établies d'après la configuration réelle des rives, et ne peuvent l'être arbitrairement. Pour qu'un terrain placé dans le lit d'un cours d'eau puisse en être légalement retranché, il faut qu'il existe une nouvelle rive telle qu'une délimitation nouvelle du lit mette ce terrain en dehors de ce même lit. (Note de M. l'inspecteur général Kleitz.)

1825, qui, parmi les formalités dont elle prescrit de faire précéder les concessions prévues dans l'article 41 de la loi du 16 septembre 1807, indique celle d'une enquête publique, et que l'on se demande si cette enquête n'est pas bien plus nécessaire quand il s'agit des fleuves et rivières, où le riverain a un intérêt évident à vérifier s'il n'est porté aucune atteinte à son droit de propriété sur l'alluvion, que lorsqu'il s'agit du rivage maritime, où le riverain n'est jamais admis à faire valoir, contre l'État, un droit de propriété sur les lais et les relais de la mer; la réponse affirmative à cette question ne nous semble pas douteuse et, par analogie, nous inclinons à croire qu'il n'en est pas différemment pour la nécessité d'une séparation effective, réelle, entre la partie du lit qui est conservée dans le domaine public et celle qu'il s'agit de faire passer dans le domaine de la possession privative.

On peut faire valoir, à ce sujet, encore une autre considération, qui touchera surtout les partisans de la doctrine du Conseil d'État, consistant à soutenir que la délimitation administrative du domaine public maritime et fluvial, quand il s'agit des limites actuelles, est non-seulement *préjudicielle*, mais que, tant qu'elle n'est pas annulée, pour excès de pouvoir, par le Conseil d'État, elle s'impose à l'autorité judiciaire qui ne pourrait l'infirmer, même par la simple allocation d'une indemnité, sans violer le principe de la séparation des pouvoirs. (Voir les développements consacrés à cette question dans notre note sur la délimitation.) Il est clair, en effet, que pour décliner ici la compétence de l'autorité judiciaire il faut être, *avant tout*, en mesure de *préciser* régulièrement, légalement, c'est-à-dire d'après la constitution de la rive, la ligne séparative du domaine public, en faveur de la conservation duquel l'État intervient, non plus comme propriétaire de son domaine privé, mais comme puissance publique. Si l'on prétend que cette distinction est subtile et controversée, on ne contestera pas,

du moins, qu'il n'existe aucun texte de loi spécial et catégorique donnant ici à l'autorité judiciaire le pouvoir de contrôler l'intervention de l'administration (*).

10. *La distinction en alluvions naturelles et artificielles ne fournit pas une base légale pour l'attribution de propriété de l'alluvion, suivant les cas, soit au riverain, soit à l'État.* — La distinction des alluvions en alluvions *artificielles* et *naturelles* est-elle de nature à fournir une base pour l'attribution de propriété des premières à l'État, et des secondes au riverain?

La réponse à faire à cette question nous semble devoir être négative. C'est ainsi qu'en a jugé la commission de 1849, comme nous l'avons rappelé ci-dessus (§§ 3 et 4); et

(*) Nous avons insisté, avec intention, sur la distinction fondamentale entre le domaine public et le domaine de l'État. Nous admettons dans le droit et spécialement dans la matière dont il s'agit ici, que l'État peut être envisagé sous deux aspects, comme *puissance publique* qui a la garde du domaine public, et comme *personne civile ou morale* qui gère son domaine privé, et cette distinction, qui est quelquefois contestée, ne nous paraît pas plus subtile que celle du domaine public et du domaine de l'État. (Ducrocq, tome II, pages 74 et 168.) Nous trouvons, au contraire, de sérieux inconvénients à cette abréviation de langage par laquelle on attribue, parfois, à l'État la propriété du domaine public. En voici un exemple pris, pour ne pas sortir de notre sujet, dans un ouvrage récent (1872): le *Traité des alluvions artificielles* de M. O. Marais, avocat à la Cour d'appel de Rouen (page 10):

« Si le riverain et l'État deviennent propriétaires dans les cas prévus par les articles 556 et 560, c'est à cause de l'accession qui s'opère, soit à la propriété antérieure du particulier, soit au lit du fleuve, *domaine de l'État.* »

Le lit du fleuve déclaré domaine de l'État, voilà l'une de ces inexactitudes juridiques auxquelles conduit le langage abrégé, incorrect, qui affirme que le lit des fleuves appartient à l'État ou que l'État en a la propriété. La Cour de cassation est depuis longtemps d'accord avec le Conseil d'État, pour ranger le lit des fleuves dans le domaine public, et pour décider que c'est une propriété publique dont l'État assure l'égale jouissance à tous, qu'il administre et qui est imprescriptible et inaliénable, tant qu'une loi n'en a pas disposé autrement.

antérieurement, dans la discussion du projet émané de l'initiative parlementaire en 1838, relativement à la propriété des alluvions, M. Dumon s'était exprimé comme il suit :

« Ces principes (consistant à dire que dans toutes les « législations les alluvions appartiennent au propriétaire « de la rive) ne sont pas contestés; les auteurs de la pro- « position et M. le directeur général des ponts et chaus- « sées viennent de le reconnaître. Mais, dit-on, ces prin- « cipes sont applicables quand il s'agit des alluvions « naturelles, et ne le sont pas quand il s'agit des alluvions « artificielles. Et quand nous avons demandé ce qu'on « entendait par alluvions artificielles, on nous a répondu, « par une définition métaphorique, que c'étaient des ter- « rains *conquis*, qui appartenaient à l'État *par droit de* « *conquête.*

« Pour vérifier ce droit de conquête, examinons com- « ment se forment les alluvions qu'on dit artificielles. « Chacun de nous peut parler ici de ce qu'il a vu. Je ne « crois pas être contredit quand j'assurerai que, le long des « fleuves les plus importants, les alluvions artificielles se « forment de la même manière que les alluvions natu- « relles.

« En effet, quand les travaux ont été entrepris dans un « fleuve, quand une partie du lit a été retranchée, il ne « faut pas croire que le fleuve se retire immédiatement et « laisse à découvert une partie de son lit. Non, messieurs, « après qu'une barrière lui a été imposée, le fleuve n'oc- « cupe pas moins la portion de son lit qu'on a eu l'inten- « tion d'occuper; seulement, par suite des travaux qui ont « été entrepris, le courant est amorti, le dépôt du limon « est facile et plus abondant, le terrain s'élève peu à peu « comme dans l'alluvion ordinaire; des plantations se « forment; mais ce n'est qu'au bout de plusieurs années « que l'atterrissement est formé. Voilà le caractère des

« alluvions artificielles ; n'est-ce pas par les mêmes caractères que la loi romaine et le Code civil ont défini les alluvions naturelles (*) ? »

11. *L'omission, dans le Code, des alluvions dites artificielles n'est pas un oubli involontaire.* — Avant d'aborder la jurisprudence de l'autorité judiciaire dans cette matière, nous nous arrêterons encore, un instant, sur une remarque qui est faite assez fréquemment par les partisans de la thèse de la propriété exclusive des riverains, thèse que nous ne combattons que dans ce qu'elle nous semble avoir d'exagéré.

Le Code civil, fait-on observer, a omis de s'occuper des alluvions artificielles, et, à l'époque de sa rédaction, on ne pouvait guère prévoir les immenses travaux qui ont été exécutés de nos jours et qui ont donné naissance aux alluvions artificielles et à la question de droit qu'elles soulèvent. Est-ce vraiment là un oubli, une lacune du Code ? Quand nous aurons fait une légitime part à ce qui est dû de l'extension plus grande donnée de nos jours aux travaux exécutés dans le lit des fleuves et rivières, nous contesterons le surplus de la remarque ci-dessus rapportée. A notre avis, ce n'est pas involontairement et par ignorance du phénomène des alluvions artificielles que les rédacteurs du Code n'y ont pas formulé, explicitement, la distinction entre l'alluvion artificielle et l'alluvion naturelle. Le titre II du livre II du Code civil « de la Propriété » a été promulgué le 6 février 1804. Or, à cette époque, les digues en rivière, et leurs effets variés sur le régime des crues plus ou moins chargées de matières entraînées,

(*) Nous n'emprunterons que cette citation au discours de M. Dumon, pour ne pas allonger démesurément cette note ; nous rappellerons, toutefois, qu'il est d'un très-vif intérêt dans toute son étendue, et spécialement, dans la partie consacrée à la plus-value que la loi de 1807 autorise l'État à réclamer des riverains pour les avantages que les travaux publics leur ont procurés.

étaient depuis longtemps connus en France et ailleurs, et par conséquent aussi, la chose, sinon le mot d'alluvion artificielle, n'était pas ignorée du rédacteur du Code. Les articles 30 à 33 du titre VII de la loi du 16 septembre 1807, qui n'est que de trois ans postérieure à la promulgation du titre II du Code civil, ne laissent subsister, à ce sujet, aucun doute sérieux, car ils indiquent au Gouvernement la marche à suivre pour faire contribuer aux dépenses des ouvrages exécutés en rivière, les propriétés privées qui en retirent des avantages, et ils autorisent les débiteurs à s'acquitter, si tel est leur choix, en délaissement de terrains conquis. Nous inclinons à croire que le vrai motif du silence en question du Code est simplement le fait que nous avons déjà cherché à mettre en lumière, à savoir que la distinction des alluvions en alluvions artificielles et naturelles n'est pas susceptible de fournir, par elle seule, une base d'attribution de propriété, soit à l'État, soit au riverain, suivant les cas.

12. *L'administration n'a jamais abandonné, dans le sens absolu de ce mot, le droit de l'État sur les alluvions conquises par ses travaux.* — Les conclusions de la commission de 1849 ont abouti, comme nous l'avons dit au § 5, à conseiller au Gouvernement de se borner à l'application des articles 30 à 32 et 41 de la loi du 16 septembre 1807, et de préférer ainsi la voie transactionnelle et d'ordre purement administratif indiquée par ces articles, à la revendication du droit de propriété complète de l'État sur les alluvions artificielles. On n'est pas autorisé à en conclure, comme l'a fait, entre autres, M. Marais, dans son traité précité des alluvions artificielles, que l'administration a abandonné absolument toute prétention sur les alluvions conquises. On trouve la trace de cette réserve dans les procès-verbaux des séances de la commission. Le riverain, d'ailleurs, tant qu'il n'a pas formellement accepté le règle-

ment de la question par la voie administrative précitée, reste libre d'ouvrir, devant l'autorité judiciaire, le débat sur la question de propriété, et le Gouvernement est obligé de l'y suivre. Nous en verrons ci-après un exemple caractéristique dans l'affaire des héritiers de Condé (C. C., 7 avril 1868). N'est-il pas clair, dès lors, que la marche administrative réglée par les articles 30 à 32 de la loi de 1807 est une voie transactionnelle qui ne tranche pas et ne saurait trancher la question de propriété, par ce double motif, d'une part, qu'intentionnellement, elle évite précisément d'ouvrir le débat sur la question de propriété, et, d'autre part, qu'une fois la question de propriété soulevée, soit par le riverain, soit, en juste réciprocité, par l'État, c'est à l'autorité judiciaire seule qu'il appartient de la trancher?

Nous arrivons ainsi à reconnaître qu'au point de vue du droit, en cette matière, c'est essentiellement de la jurisprudence de l'autorité judiciaire qu'il importe de se rendre un compte exact.

Jurisprudence de l'autorité judiciaire en matière d'alluvions artificielles.

15. *Arrêts caractéristiques* — Aucun compte rendu ne vaut la simple lecture de l'arrêt lui-même dans les questions essentiellement d'espèce dont il s'agit ici; c'est ce qui nous décide à mettre à la suite de cette note le texte des arrêts les plus caractéristiques, quand ils ne se trouvent pas déjà insérés dans les *Annales des ponts et chaussées*.

En voici l'indication :

1° Arrêt de la Cour de cassation du 8 juillet 1829 (Archinard) ;

2° Arrêt de la Cour d'Agen du 8 novembre 1840 (de Ballias) ;

3° Arrêt de la Cour de cassation du 6 août 1848 (*) (Paris-Labrosse);

4° Arrêt de la Cour de cassation du 8 décembre 1863 (Petit);

5° Arrêt de la Cour de Bordeaux du 4 avril 1870 (Gièze);

6° Arrêt de la Cour de cassation du 7 avril 1868 (1) (héritiers de Condé);

7° Arrêt de la Cour de Paris du 6 août 1870 (1) (héritiers de Condé).

Les Cours d'appel, en la matière dont il s'agit, sont juges souverains, il importe de le remarquer, du *droit* et du *fait*. On ne rencontre ici que des décisions d'espèce où, en général, le point de droit pur n'est pas séparé du point de fait dans les motifs de l'arrêt (nous aurons à signaler cependant une exception, à cet égard, dans une partie des considérants de l'arrêt du 8 décembre 1863). En tous cas, la Cour de cassation, en vertu même de son institution, se borne à vérifier si la loi a été violée ou non, par l'arrêt qui lui est déféré; elle admet les points de fait tels qu'ils sont établis par la Cour d'appel, et l'on n'a pas de peine à s'expliquer qu'ici le point de fait a, le plus souvent, une influence prépondérante. La doctrine de l'autorité judiciaire, telle qu'elle se déduit à la fois des arrêts des Cours d'appel et de ceux de la Cour de cassation, est nécessairement une, car la Cour de cassation ne change sa jurisprudence que dans la circonstance, très-rare, où deux Cours d'appel per-

(*) Voir *Annales des ponts et chaussées*, 1849, page 337.

(1) Nous donnons cet arrêt, sur lequel l'attention est appelée particulièrement, avec des développements plus étendus que cela n'a été fait dans les *Annales des ponts et chaussées* (1869, p. 493), et en le faisant précéder de l'arrêt de la Cour de Rouen du 11 avril 1865 qui a été cassé. Quant à l'arrêt de la Cour de Paris du 6 avril 1870, rendu dans la même affaire, sur le renvoi de la Cour de cassation, nous l'avons inutilement cherché dans les recueils des arrêts qui étaient à notre disposition ; nous le devons à l'obligeante communication d'un membre de la Cour de cassation (mai 1875).

sistent, successivement, pour la même affaire, dans une doctrine rejetée une première fois en Cour de cassation, et alors le changement n'a lieu que dans la forme solennelle d'un arrêt rendu toutes chambres réunies. Disons, dès à présent, que rien de semblable n'a eu lieu pour la doctrine de l'autorité judiciaire dans les questions de propriété des alluvions artificielles, et passons à l'examen des arrêts indiqués ci-dessus.

14. *Arrêt de la Cour de cassation du* 8 *juillet* 1829 (*Archinard*). — Le premier arrêt que l'on rencontre, celui de la Cour de cassation du 8 juillet 1829, rejette le pourvoi formé au nom de l'État, par le préfet de la Drôme, contre l'arrêt de la Cour d'appel de Grenoble du 30 août 1828, confirmatif d'un jugement du tribunal de Die du 5 juillet 1826 qui avait, au profit de deux riverains, repoussé la prétention de l'État de s'emparer d'atterrissements formés sur la rive droite de la Drôme.

La Cour de cassation rejette le pourvoi du préfet, en se basant sur le point de fait adopté par la Cour d'appel, savoir : qu'il s'agit d'une alluvion telle qu'elle est définie dans l'article 556 du Code civil, ce qui exclut l'application de l'article 560, en se fondant, en outre, sur ce que, dans l'espèce, la circonstance des travaux faits à mains d'homme ne met pas obstacle à l'application des règles établies pour déterminer le caractère des alluvions, et sur ce que les mesures de police, en vue de la conservation de la libre navigation, ne peuvent pas être invoquées pour repousser l'application de l'article 556 du Code civil.

On trouve la même doctrine dans un arrêt de la Cour de Paris du 7 juin 1839 qui décide, contre le préfet de l'Yonne (régie du domaine de l'État), que les alluvions appartiennent toujours aux riverains, soit qu'ils résultent des travaux exécutés par l'État, soit qu'ils se forment par le retrait naturel des eaux.

15. *Arrêt de la Cour d'Agen du 11 novembre 1840 (de Ballias).* — L'un des documents les plus utilement consultés, dans cet ordre d'idées, et auquel nous avons emprunté quelques-unes des considérations développées dans les premiers paragraphes de cet exposé, c'est l'arrêt de la Cour d'Agen du 11 novembre 1840. En réalité, la Cour s'est bornée à déclarer confirmé le jugement du tribunal d'Agen du 10 août 1838, par les motifs donnés par les premiers juges. La netteté et la vigueur (nous dirions volontiers la verve) de la discussion des arguments mis en avant par les parties (l'administration des domaines et M. de Ballias, propriétaire riverain de la Garonne) donnent à ce jugement une valeur considérable, et justifient le grand nombre de citations qui en ont été faites. Il convient de le lire *in extenso*, ce qui vaut toujours mieux que le meilleur des résumés.

Pour éviter les redites, nous n'appellerons pas ici l'attention sur les premiers considérants qui embrassent les commentaires des articles 556 et 560 du Code civil, mais nous signalerons à l'attention du lecteur la discussion relative à la portée de l'article 41 de la loi du 16 septembre 1807. L'administration des domaines avait induit du texte de cet article que puisque la loi donne à l'État le droit de concession des accrues, atterrissements et alluvions des fleuves, quant à ceux de ces objets formant propriété publique ou domaniale, c'est que la loi l'en reconnaît propriétaire. Les motifs du jugement établissent que la restriction formulée par ces mots : « quant à ceux de ces objets qui forment propriété publique ou domaniale » laisse toujours à examiner quels sont les biens qui entrent dans la propriété publique et domaniale de l'État, et que toute la loi de 1807, par son texte et par son esprit, basés sur le respect de la propriété, résistent à l'interprétation du domaine.

Le jugement, dans les derniers considérants, ne conteste pas le droit de l'État de réclamer, s'il y a lieu, une indem-

nité de plus-value au riverain, nul ne pouvant s'enrichir au détriment d'autrui, mais il déclare n'avoir pas eu à s'en occuper, la question de propriété étant seule soulevée, et nulle réserve n'ayant été faite quant à cette question de la plus-value.

16. *Arrêt de la Cour de cassation du* 6 *août* 1848 (*Paris-Labrosse*). — Un arrêt de la Cour de cassation du 8 mars 1843 et un autre arrêt de la même Cour du 6 août 1848 maintiennent, dans des termes non moins favorables aux propriétaires riverains, la doctrine de l'arrêt de 1829. Les *Annales des ponts et chaussées* (1849, page 337) donnent l'arrêt du 6 août 1848, avec une notice suffisamment développée ; nous nous bornons à y renvoyer.

Quand nous aurons cité un arrêt de la Cour de Bourges du 17 mai 1839 (de Marguerye contre l'État et la compagnie des ponts de Saint-Thibault), qui établit que si les terrains litigieux sont partout inférieurs aux berges de la rive et couverts par les eaux navigables (1), ils doivent être considérés comme n'étant encore qu'une portion du lit ou tréfonds du fleuve, et comme manquant, par cela même, du caractère propre et tranché des alluvions dévolutives de propriété, nous aurons passé en revue ceux des monuments de la jurisprudence que la commission de 1849 a été à même d'invoquer, quand son président a déclaré qu'il est ainsi démontré que la jurisprudence est opposée, jusqu'à présent, aux prétentions de l'État sur les alluvions artificielles.

17. Cette jurisprudence a-t-elle changé depuis, et

---

(1) Dans un certain nombre d'arrêtés de délimitation, on s'est basé sur les eaux navigables. C'est une erreur. Les besoins de la navigation sont étrangers à la constitution réelle des rives qui contiennent le *plenissimum flumen*. Lorsque le Conseil d'État a employé le mot d'*eaux navigables*, il a entendu désigner les eaux de pleins bords (M. Aucoc, *Leçons autographiées*).

admet-elle maintenant la distinction, anciennement repoussée, entre les alluvions naturelles et les alluvions provoquées par les travaux de l'État ?

Question délicate et qui commande la plus grande réserve, en ce sens que si, d'un côté (et c'est l'opinion que nous voulons soutenir ici), aucun changement ne nous semble survenu, au fond, dans la jurisprudence de l'autorité judiciaire, d'un autre côté, on peut signaler dans les arrêts de la Cour de cassation du 8 octobre 1863 et du 7 avril 1868, des considérants qui accentuent plus vivement que dans le passé la limitation du droit des riverains et le compte qui doit être tenu, au profit de l'État, de l'influence des travaux exécutés par lui, sur la production des atterrissements ; cette circonstance explique, mais, selon nous, ne justifie pas absolument, l'opinion qui soutient que l'autorité judiciaire se montrerait aujourd'hui plus favorable que précédemment aux prétentions de l'État, dans les questions de propriété des alluvions artificielles.

18. *Arrêt de la Cour de cassation du 8 décembre 1863 (Petit). Notice et analyse raisonnée des motifs.* — Le point de fait, dans le procès qui s'est terminé par l'arrêt de la Cour de cassation du 8 décembre 1863 (affaire Petit) est, en quelques mots, le suivant : M. Petit est riverain de la Touque, à quelques centaines de mètres à l'amont de son embouchure ; l'établissement, en 1840, de la route départementale de Saint-Pierre-de-Dives à Trouville, a eu pour conséquence de séparer du lit de la rivière une petite parcelle de terrain de 17 mètres de profondeur sur 11 mètres de largeur, qui se trouve ainsi comprise entre ladite route et la propriété de M. Petit, riveraine de la Touque, antérieurement à la création de la route. La parcelle détachée ainsi brusquement du lit de la Touque est revendiquée par M. Petit contre la commune de Trouville, à laquelle l'État avait fait abandon de son droit de propriété

sur ladite parcelle, considérée comme appartenant au domaine de l'État, à partir du moment où elle a cessé de faire partie du domaine public.

Le jugement du tribunal de Pont-l'Évêque du 9 août 1860 et l'arrêt de la Cour de Caen du 27 novembre 1861, adoptant les motifs des premiers juges pour confirmer ledit jugement, rejettent les prétentions de M. Petit et mettent la commune de Trouville en possession du terrain litigieux.

En déférant l'arrêt de la Cour de Caen à la Cour de cassation, le défenseur de M. Petit a fait porter le débat sur deux questions, également importantes, connexes dans l'affaire, mais susceptibles d'être envisagées séparément, savoir : 1° la définition du lit d'un cours d'eau navigable, près de son embouchure dans la mer et des points où le niveau des plus hautes eaux sans débordement est influencé par les marées ; 2° l'attribution de propriété des alluvions dites artificielles.

L'arrêt de la Cour de cassation du 8 décembre 1863 est fréquemment invoqué, à raison de la définition qu'il donne du lit des cours d'eau dans la partie où ils sont influencés par les marées ; l'importance de ce point de jurisprudence, dans lequel l'accord du Conseil d'État et de la Cour de cassation s'est montré complet, a donné une grande notoriété à cette partie de l'arrêt ; nous n'avons pas à nous y arrêter ici (*), nous référant à ce qui en est dit dans notre note sur la délimitation.

(*) La Cour de Caen aurait dû, d'après le pourvoi de M. Petit, déterminer la hauteur du niveau des eaux de la Touque, sans se préoccuper des marées ; voici le texte de la doctrine de la Cour de cassation, en réponse à la thèse que soutenait le pourvoi :

« Attendu, en droit, que le lit des rivières comprend tout le « terrain qu'atteignent et couvrent, dans les habitudes de leur « cours et sans débordement, les eaux parvenues à leur plus haut « point d'élévation, quelle que soit la cause de cette élévation, et « alors même qu'elle serait le résultat du reflux périodiquement « occasionné par les marées ordinaires. »

En ce qui touche la seconde question, attribution de propriété, on remarquera certainement que dans les trois premiers motifs donnés par la Cour de cassation, il s'agit encore de droit pur, et que cette partie de l'arrêt a, dès lors, une grande valeur doctrinale dans la question des alluvions dites artificielles ; elle établit les trois points de droit suivants :

1° L'alluvion ne profitera au riverain qu'autant qu'elle s'opère dans les conditions déterminées par la loi.

2° Les atterrissements *brusquement* formés par le retrait *subit* des eaux, ne s'incorporent pas au fonds riverain, *quoiqu'ils y soient adhérents*, et *appartiennent à l'État* sur les bords des fleuves et rivières navigables.

3° Les deux points précédents sont la conséquence logiquement déduite de l'article 556 du Code civil ; ils sont confirmés par l'article 560 qui, *s'il n'y a titre ou prescription contraire*, attribue à l'État les atterrissements qui se forment dans le lit des rivières navigables.

Le quatrième motif se fonde ensuite, abandonnant le terrain du droit pur, sur les constatations de fait *souveraines* de l'arrêt de la Cour de Caen, savoir, que c'est seulement en 1840 et par l'effet immédiat de l'établissement de la route que le terrain litigieux, jusqu'alors recouvert par les hautes eaux, s'est distingué du lit de la Touque, en a été séparé et a été *définitivement* mis à l'abri de la submersion.

On comprend que, quand on ne s'attache qu'à la partie doctrinale de cet arrêt, on est facilement conduit à penser que les travaux exécutés en rivière par l'État et déterminant le retrait des eaux, constituent un état de choses et de conditions suffisant pour que le riverain ne soit plus admis à soutenir que l'alluvion s'est formée dans les conditions prévues par la loi, et c'est, sans doute, ainsi qu'on est porté à croire que l'autorité judiciaire a modifié, dans un sens plus favorable aux prétentions de l'État, toute sa jurisprudence antérieure. En réalité, cette façon de com-

menter l'arrêt du 8 décembre 1863 ne nous semble pas très-correcte ; c'est, en effet, manquer de rigueur et de précision que d'omettre de tenir compte de la restriction que nous avons soulignée dans le troisième motif, et, en outre, du quatrième motif tout entier, qui vise les constatations de fait souveraines de la Cour d'appel. Or, ce quatrième motif ne se borne pas à constater qu'il y a eu des travaux exécutés par l'État; il met surtout en relief deux effets de ces travaux, savoir : 1° la formation *brusque*, *immédiate* de l'atterrissement ou du terrain litigieux, et 2° la *séparation définitive* de ce terrain d'avec le lit de la Touque. D'où il suit que si ces conditions n'avaient pas été remplies, la décision de la Cour aurait pu être différente. Il en est de même de la restriction mentionnée ci-dessus dans le troisième motif, au sujet de laquelle la Cour a pris soin de viser la constatation souveraine, par la Cour d'appel, du fait qu'antérieurement aux travaux de l'État il n'était né aucun droit de propriété, au profit du riverain, sur le terrain litigieux. (Lire, à cet égard, le dernier des considérants de l'arrêt de cassation relatifs au premier moyen du pourvoi Petit.)

En résumé, l'arrêt de la Cour de cassation du 8 décembre 1863 n'implique aucun changement, au fond, dans la jurisprudence de l'autorité judiciaire, mais il accentue, plus nettement que par le passé, le point de droit d'après lequel le riverain ne peut revendiquer l'alluvion que quand celle-ci se forme dans les conditions définies par la loi, et, en outre, il établit que pour que l'État revendique utilement la *propriété* d'un atterrissement, dans le sens complet du mot *propriété*, il ne suffit pas que les travaux de l'État en aient provoqué la formation, il faut, en outre, qu'il n'existe pas de droit antérieur du riverain sur le terrain litigieux, — que celui-ci ait été formé dans des conditions autres que celles définies par la loi pour l'alluvion et, enfin, que le terrain ou l'atterrissement litigieux soit nettement et défi-

nitivement séparé du lit du cours d'eau, autrement dit, retranché effectivement, matériellement, du domaine public et susceptible d'être possédé privativement.

19. *Arrêt de la Cour de Bordeaux du 4 avril 1870 (Gièze). Notice et analyse raisonnée des motifs.* — Dans le paragraphe précédent, il s'est agi d'une alluvion formée par retrait artificiel et brusque des eaux. Nous le ferons suivre de l'exemple d'une autre nature d'alluvions, c'est-à-dire du cas de la formation perceptible d'un atterrissement par dépôt, artificiellement provoqué, des matières charriées par un cours d'eau. C'est l'espèce qui fait l'objet de l'arrêt de la Cour de Bordeaux du 4 avril 1870.

Le point de fait est, en résumé, le suivant : En vue de l'amélioration de la Garonne, en aval de Bordeaux, dans la commune de Blanquefort, l'État a fait exécuter, de 1854 à 1865, trois digues disposées de telle sorte, aux abords de l'île de Duras ou de Grattequina, que le bras de rivière dit de Grattequina, entre l'île et la rive gauche de la Garonne, se trouve barré complétement au droit et à partir de l'extrémité aval de l'île, et que dans la digue qui passe par l'extrémité d'amont de l'île, il est ménagé une lacune pour l'écoulement des eaux d'un affluent ; — ces dispositions ont eu pour effet, comme on l'avait d'ailleurs prévu et voulu, que les eaux chargées de matières alluvionnaires ont pénétré librement par l'ouverture d'amont dans le bassin fermé à l'aval et compris entre l'île et la rive gauche, et que le dépôt des matières s'y est effectué comme dans un bassin d'épuration.

Le propriétaire de l'île, M. Gièze, a revendiqué, contre l'État, la propriété des alluvions ainsi obtenues au moment où, celles-ci étant parvenues à une hauteur suffisante pour être susceptibles de propriété privée, l'administration des domaines se disposait à les vendre publiquement, au profit du trésor, en accordant au riverain, chacun au droit de

i, le privilége de la préemption, dans l'esprit de la loi u 24 mai 1842, appliquée ici à la voie fluviale par analoie avec ce qui se fait pour les portions de routes natioales délaissées et passant du domaine public dans le doaine de l'État. M. Gièze (*) fonde sa revendication sur ce ue les alluvions, ayant mis dix ans à se faire, se sont forées imperceptiblement et successivement, comme il est évu à l'article 556 du Code civil qui les attribue au riven.

Le tribunal de première instance, par un jugement en ate du 27 janvier 1869, déclare Gièze mal fondé dans utes ses demandes et le condamne aux dépens envers utes les parties. Ce document nous a paru trop dévepé pour être reproduit ici; laissant de côté tous les tails de procédure, nous rappellerons seulement que les otifs du jugement sont essentiellement tirés des constatations de fait d'après lesquelles les atterrissements litigieux 'auraient en rien les caractères distinctifs, voulus par article 556, pour pouvoir être attribués au riverain. Ces otifs ont été adoptés par la Cour d'appel, à l'exception, outefois, de celui qui tend à assimiler le bras fermé par ne digue à un lac ou à un étang.

L'arrêt de la Cour d'appel du 4 avril 1870, que nous ons reproduit ci-après, dans les documents annexés, en pprimant les détails d'audience et de procédure inutiles l'objet de cette note, reprend la question de savoir si l'arle 556 est applicable dans l'espèce; il déclare d'abord e le bras de Grattequina, maintenant fermé à l'aval, n'est s susceptible d'être considéré comme un lac ou un étang

(*) En première instance, il y avait eu, en outre, un troisième tervenant, M. Duffour, propriétaire sur la rive continentale qui mettait le droit de l'État, mais refusait de reconnaître celui de Gièze sur la totalité des atterrissements; nous ne nous y arrêons pas ici, d'autant plus qu'en appel il s'était désisté de son tervention.

régi par l'article 558 du Code civil, mais il établit que le atterrissements litigieux n'ont aucun des caractères voulu par l'article 556 du Code, action lente et occulte exercé par les eaux courantes le long de leurs bords,—aléa dont le chances inconnues doivent, bonnes ou mauvaises, être pou ou contre le riverain ; il établit que dans l'espèce les atte rissements n'avaient rien d'imprévu ni d'éventuel, qu'ils o été préparés par les travaux de l'État et imposés au fleuv de telle sorte que l'on a pu déterminer d'avance le mome de leur origine, celui de leur émersion et calculer la mass de limon quotidiennement déposée par les eaux, sans po voir jamais être remportée par elles ; qu'en un mot lesdi atterrissements sont le résultat direct, prévu et recherch d'un instrument de remblayage, mis en action par l'Éta *sur son terrain*, alors qu'il a la pleine propriété et posse sion de celui-ci, et que dès lors ils rentrent dans la class de ceux qui, en vertu de l'article 560 du Code, sont attri bués à l'État. L'arrêt ajoute qu'il faut en décider ainsi, sur tout lorsque, comme dans l'espèce, l'État, au commence ment de ses travaux, a constaté par une délimitation, no contestée des riverains, l'étendue et les limites du lit s lequel il se préparait à opérer le remblayement par atterri sement, et qu'en procédant ainsi l'État a prévenu tout incertitude sur l'emplacement et sur la cause des atterrisse ments, et a rendu, par suite, inapplicable l'article 556 fa pour les accroissements alluvionnaires.

Les réflexions émises dans le § 18 ci-dessus, à la suit de l'analyse de l'arrêt du 8 décembre 1863 (affaire Petit) sont évidemment confirmées par l'arrêt du 4 avril 187 (affaire Gièze). Nous appellerons accessoirement l'atten tion sur l'utilité et l'importance de la délimitation préa lable et contradictoire du lit, et aussi sur les termes pa lesquels l'autorité judiciaire caractérise l'emplacemen dans lequel les atterrissements ont été provoqués ; appli qués au domaine public fluvial, ils nous paraîtraient in-

corrects, en ce sens que, s'agissant d'une surface non susceptible de propriété privée et affectée à la jouissance de tous, sous la garde de l'État, il n'est pas admissible d'en attribuer la pleine et entière propriété à l'État ; mais si l'on a égard à ce que les digues exécutées par l'État avaient, *de fait*, retranché ledit emplacement du domaine public fluvial, et l'avaient fait passer dans le domaine de l'État, sans que, comme la délimitation incontestée le prouve, le riverain ait eu à faire valoir ni un titre, ni un droit qui fût, à l'époque de la délimitation, déjà à son profit, on reconnaît qu'il s'agit alors d'un terrain dont l'État avait en effet la pleine et entière propriété, comme appartenant au domaine de l'État.

20. ***Remarques sur l'application de l'article** 30 **de la loi du** 16 **septembre*** 1807. — L'arrêt de la Cour de cassation du 7 avril 1868 dans l'affaire des héritiers de Condé et l'arrêt de la Cour de Paris du 6 août 1870, introduisent dans l'étude de la question un élément nouveau qui ne figure pas dans les arrêts analysés plus haut, c'est l'application de l'article 30 de la loi du 16 septembre 1807; celle-ci constitue, comme nous l'avons fait remarquer déjà ci-dessus au § 12, la solution d'ordre purement administratif de la question des alluvions artificielles. L'exposé détaillé de la procédure à suivre pour ladite application sortirait des limites comme de l'objet même de la présente note; rappelons cependant qu'à côté de la double estimation des propriétés, par la commission spéciale qui est chargée de déterminer la plus-value, par la différence entre les valeurs de la propriété avant et après les travaux exécutés en tout ou en partie aux frais de l'État, l'un des éléments principaux de cette double expertise lui est fourni par deux opérations de délimitation du lit de la rivière, la première exécutée à l'origine des travaux et faisant connaître la limite à partir de laquelle il va y avoir

conquête sur le domaine public, et la deuxième effe
tuée quand les dépôts alluvionnaires ont acquis la haute
et la consistance ou, comme on dit, la maturité jug
nécessaires pour constituer la nouvelle rive du cours d'ea
Rappelons aussi que si l'acquiescement du riverain est
l'un des éléments de la solution, en ce que, s'il le ju
préférable à ses intérêts et tant que ce consentement n'
pas donné, il est toujours libre de soulever, contre l'Éta
la question de propriété devant les tribunaux ; d'un aut
côté, la délimitation du lit, avant et après l'opération de
conquête des terrains, s'impose à l'autorité judiciai
comme opération préjudicielle à toute décision de
part. A ce sujet, rappelons enfin deux points essentiels
noter, savoir : la nécessité, aux termes de l'article 52
la loi du 16 septembre 1807, d'avoir recours à un déc
délibéré en Conseil d'État, pour déclarer l'article
applicable aux propriétés intéressées, lorsque le Gouve
nement se propose de revendiquer l'indemnité de plu
value dont il s'agit, et la nécessité de procéder à la dé
mitation contradictoire du lit, soit avant l'entreprise de
conquête à faire sur le domaine public, soit, du moins,
un moment où il est encore possible de constater les limit
du lit primitif. Sans cette dernière précaution, il pourra
arriver qu'au moment de la seconde délimitation, celle q
a pour objet de reconnaître si les atterrissements sont sort
du lit et susceptibles de possession privative, en fixant
nouvelle limite du lit, il pourrait arriver, disons-nous, q
la recherche de la *limite ancienne* qui n'aurait pas été ad
ministrativement constatée, fût considérée comme n'étan
plus de la compétence exclusive de l'autorité administra
tive et revendiquée par les tribunaux (*).

(*) C'est, en effet, dans ce sens que la question de compétenc
pour la détermination des *limites anciennes* est tranchée par la dé
cision récente du tribunal des conflits du 1er mars 1873 (Guillé,

21. *Arrêt de la Cour de cassation du 7 avril 1868 (héritiers de Condé). Notice succincte.* — Passons maintenant à l'examen de l'arrêt de la Cour de cassation du 7 avril 1868 (affaire des héritiers de Condé contre l'État).

L'analyse assez développée que nous donnons ci-après, dans les documents annexés, des antécédents de l'affaire, nous permet d'en réduire ici l'exposé à un résumé très-succinct.

Les héritiers de Condé sont propriétaires de prairies connues sous le nom de Marais-Vernier et situées près de Quillebeuf, non loin de l'embouchure de la Seine.

En vertu de la loi du 31 mai 1846 et du décret du 25 janvier 1852, autorisant et dotant de crédits l'endiguement de la basse Seine, trois décrets impériaux des 25 janvier, 13 août 1853 et du 15 juillet 1854, déclarent, dans l'intérêt de l'État, les dispositions de l'article 30 de la loi du 16 septembre 1807 *applicables* aux propriétés privées de l'une et l'autre rive de la Seine qui acquerraient une plus-value, par suite de l'exécution des travaux d'endiguement de la Seine, et indiquent, pour le montant de l'indemnité réclamée à ces propriétés, la moitié de l'estimation des avantages qui en résultent pour elles.

Parmi les mesures administratives prises à cette occasion, on rencontre l'arrêté de délimitation du préfet de l'Eure, du 23 février 1854, approuvé par le ministre des travaux publics le 24 mars suivant, sans qu'il se soit produit aucune opposition contre ledit arrêté qui fixe les limites des deux rives du fleuve, à la date indiquée.

Après l'exécution des premiers travaux, une étendue considérable d'atterrissements se forme derrière les endiguements, avec adhérence tant au talus intérieur de la digue — qu'à l'ancienne rive fluviale. — Pendant les années 1857 à 1861, le domaine fait vendre les herbes que produisent lesdits atterrissements, au profit du trésor, sans rencontrer d'abord aucune opposition (pour les huit années

de 1857 à 1865, ces ventes ont rendu plus de 120,000 fr.). Par exploit du 6 janvier 1862, les héritiers de Condé se prétendant, *hic et nunc*, propriétaires desdits atterrissements, en vertu des articles 556 et 557 du Code civil, assignent l'État devant le tribunal civil de Pont-Audemer, pour obtenir sa condamnation pour avoir vendu, sans droit, des récoltes excrues sur les terrains des demandeurs, et pour avoir à restituer, dès lors, le prix de ces récoltes et payer des dommages-intérêts.

Le jugement de ce tribunal, du 12 juin 1863, déboute les demandeurs de leurs prétentions, dans les termes que nous avons reproduits dans les documents annexés. Il admet, en résumé, qu'ici la loi du 16 septembre 1807 fait la loi des parties, et qu'il n'y a pas lieu de faire application de l'article 556 du Code civil.

Analyse raisonnée de l'arrêt de la Cour d'appel de Rouen, du 11 avril 1865, qui a été cassé. — Sur l'appel des héritiers de Condé, la Cour d'appel de Rouen rend, le 11 avril 1865, l'arrêt que l'on trouvera, *in extenso*, dans les documents annexés, et qui contient, en substance, les considérations suivantes :

Les deux premiers considérants rappellent, d'une part, que l'État entend rester maître des fruits de l'atterrissement litigieux jusqu'au moment où, les travaux étant terminés et la conquête sur le domaine public étant complètement réalisée, il remettra le terrain au riverain, et recevra de celui-ci l'indemnité de plus-value, et, d'autre part, que le riverain s'attribue, dès à présent, un droit absolu sur les fruits au fur et à mesure que le terrain se forme, la livraison définitive du terrain par l'État n'ayant pour objet, suivant lui, que de mettre le riverain en possession de la chose dont il n'aura eu jusque-là que les fruits : dans le 3ᵉ considérant, l'arrêt déduit de ces prémisses que c'est là une question de propriété dont la

solution est exclusivement du ressort de l'autorité judiciaire, et que, pour la résoudre, il suffit de savoir si le terrain en litige est, ou non, une alluvion dans le sens de la loi.

Faisons remarquer de suite que ce troisième considérant est entaché d'une erreur ou omission grave. Le point à mettre en évidence, pour qu'il n'y ait plus qu'une question de propriété, est, en effet, tout d'abord, de savoir si l'atterrissement est déjà susceptible d'être possédé privativement, autrement dit, s'il est sorti du lit du fleuve. On vient de voir que l'État le revendique encore pour le domaine public ; au lieu d'une question de propriété, c'est, dès lors, une question de non-propriété qu'il s'agit de résoudre, et de l'espèce de celles où la loi ne donne compétence qu'à l'autorité administrative.

Le 4e considérant rappelle la doctrine constante de l'autorité judiciaire sur la définition de l'alluvion légale, en disant que c'est l'accroissement qui advient d'une façon successive et imperceptible à la rive, sans distinguer le cas où il se produit indépendamment d'un acte quelconque de l'industrie humaine, du cas où l'atterrissement résulte du concours de faits purement naturels et de travaux d'art accomplis par les soins et aux frais, soit de l'État, soit des particuliers.

Le 5e et le 6e considérant sont consacrés à établir le point de fait de la cause, à savoir que l'atterrissement, préparé et facilité, sans aucun doute, par l'endiguement de la Seine, n'a cependant pas été *soudain*, mais qu'il s'opère par progrès insensible et que sa formation est l'œuvre directe d'un fait naturel, du jeu alternatif des marées, favorisé par le fait artificiel de la construction des digues. L'arrêt en conclut (*), dans le 6e considérant, qu'il s'agit,

(*) Cette conclusion suppose, ce qui n'est pas exact, que l'atterrissement est devenu une alluvion par son émersion au-dessus des eaux de pleins bords.

dès lors, de l'alluvion légale appartenant au riverain, sans nécessité de concession d'aucune sorte ; il annonce, en outre, qu'il va chercher une autre preuve dans les actes administratifs intervenus.

Les 7e, 8e et 9e considérants rappellent ces actes administratifs : arrêté du 6 décembre 1853, par lequel le préfet de l'Eure propose d'appliquer l'article 30 de la loi de 1807 aux propriétés riveraines voisines de l'endiguement et de leur réclamer une indemnité égale à la moitié de la plus-value qu'acquerraient ces propriétés ; — arrêté du 23 février 1854 portant constatation des limites du lit à ce moment, pour servir de base et de point de départ aux expertises ultérieures relatives à la plus-value. Enfin, décret du 15 juillet 1854, délibéré en Conseil d'État, par lequel, conformément à l'article 32 de la loi de 1807, il est déclaré *souverainement* que les dispositions de la loi de 1807 sont appliquées aux propriétés riveraines en question. Dans le 10e considérant, l'arrêt se fondant sur ce qu'il suffit de prendre ces actes administratifs à la lettre, sans qu'il soit aucunement besoin de les interpréter, constate que, pour la Cour, il n'y a pas lieu de surseoir à statuer jusqu'à ce qu'ils aient été interprétés par l'autorité administrative.

Les 11e et 12e considérants sont, principalement, ceux que frappe l'arrêt de cassation. La Cour d'appel y a entendu, en effet, déduire des actes administratifs précités, non-seulement que l'atterrissement formé entre l'ancienne rive délimitée de la Seine et l'endiguement, *appartiendra*, par droit d'accession, aux propriétaires riverains, à la charge par eux de payer au trésor l'indemnité de la plus-value (ce qui, en la forme du futur, nous paraît une conclusion irréprochable), mais encore (et cette partie de la conclusion est des plus contestables), qu'il y a là, non pas une concession en expectative, mais une *reconnaissance actuelle de propriété*. — Le 12e considérant en déduit, pour le riverain, le droit à la jouissance de tous les fruits, et pour la Cour,

la compétence d'en décider ainsi, en disant que la Cour ne juge par là rien qui touche à l'exécution des travaux et que l'autorité administrative garde le pouvoir de délivrer les terrains quand elle l'estimera convenable.

Dans le dispositif, enfin, la Cour d'appel met à néant le jugement du tribunal de Pont-Audemer; se déclare compétente sur la question de propriété comme sur celle de jouissance des fruits de l'atterrissement, objet du procès; —Juge qu'il n'y a pas lieu à interprétation préalable, par l'autorité administrative, ni de l'arrêté de délimitation du 23 février 1854, ni du décret du 15 juillet 1854; — Déclare les héritiers de Condé propriétaires, par droit d'accession, des alluvions qui se sont formées ou qui pourront se former au droit de leur propriété, le long de la Seine; — Ordonne que restitution leur sera faite, par l'État, du prix des ventes des herbes excrues sur lesdites alluvions, si mieux n'aime l'État que ledit prix soit imputé, jusqu'à due concurrence, sur le montant de l'indemnité de plus-value, quand celle-ci sera exigible.

Tel est l'arrêt que le préfet de l'Eure, au nom de l'État, a déféré à la Cour de cassation et qui, en effet, a été cassé par l'arrêt du 7 avril 1868.

On trouvera, ci-après, dans les documents annexés, le texte de la partie principale de cet arrêt de la Cour de cassation; il n'est pas interprété dans le même sens par tous ceux qu'il intéresse, comme monument de la jurisprudence.

Analyse et interprétation raisonnées de l'arrêt de la Cour de cassation du 7 avril 1868. — Examinons d'abord comment en lui donnant une portée, selon nous exagérée, on peut être amené à en déduire que l'autorité judiciaire admet aujourd'hui la distinction, autrefois repoussée, entre les alluvions naturelles et les alluvions artificielles et attribue la propriété de ces dernières à l'État.

Voici en quels termes cet arrêt est résumé dans l'un des recueils les plus répandus (Dalloz) :

« Lorsque l'État, avant d'entreprendre des travaux « d'amélioration d'une rivière navigable, a fait opérer la « délimitation de cette rivière, et a déclaré qu'il entend « réclamer des propriétés riveraines, conformément à l'ar- « ticle 30 de la loi du 16 septembre 1807, une portion de « la plus-value qu'acquerraient ces propriétés, — *les « atterrissements qui se forment ultérieurement le long des- « dites propriétés, par l'effet des travaux, ne constituent pas « des alluvions dont la propriété puisse être revendiquée par « les riverains*, en vertu de l'article 556 du Code civil. *Ces « atterrissements demeurent la propriété de l'État* qui, par « suite, a le droit exclusif de percevoir les produits qu'ils « peuvent donner, et ils n'appartiendront aux riverains « que lorsque l'État leur en aura fait l'abandon, dans les « formes et conditions établies par l'article 30 précité de « la loi du 16 septembre 1807. »

Nous avons cité ce compte rendu, parce que dans les termes soulignés ci-dessus il exprime, avec précision, la portée donnée, selon nous, dans un sens exagéré, à l'arrêt en question et parce qu'il a peut-être contribué à répandre une interprétation dont nous nous proposons de montrer l'inexactitude.

Quant à son origine et à l'explication à en donner, elles se trouvent, évidemment, dans la forme même (que nous distinguons ici du fond) de la rédaction du 4e considérant de l'arrêt en question ; voici, en effet, le texte de ce considérant :

« *Attendu qu'il n'est pas contesté par les juges du fait*, et « qu'il n'est pas même allégué dans les conclusions qui « ont été prises, devant eux, par les défendeurs, qu'avant « le commencement des travaux, il existât, dans la partie « du fleuve contiguë aux Marais-Vernier et adhérent à ce « domaine, *aucun atterrissement ayant caractère d'allu-*

« vion; *que, d'autre part, il est reconnu, par l'arrêt atta-*
« *qué, que les atterrissements,* revendiqués par les défen-
« deurs, *ont été préparés par les travaux d'endiguement,*
« *d'où la conséquence qu'à l'époque où a commencé l'entre-*
« *prise,* et où, en conformité de la loi de 1807, il a été
« procédé, contradictoirement avec les représentants légaux
« des riverains, à la délimitation du lit du fleuve, *la partie*
« *où se sont formés, par suite, les atterrissements litigieux,*
« *n'avait pas cessé d'être* LA PROPRIÉTÉ EXCLUSIVE DE L'ÉTAT,
« *qui a pu, en vertu de l'article* 41 *de la même loi, en dis-*
« *poser comme il l'a fait par les trois décrets susvisés de*
« *1853 et de* 1854. »

Il faut bien reconnaître qu'au premier abord, la rédaction qu'on vient de lire semble justifier l'appréciation ci-dessus de l'arrêtiste ; en effet, le soin que prend la Cour de faire ressortir que devant le juge souverain du fait, il est mis hors de doute que les travaux seuls ont provoqué la formation des atterrissements, et qu'avant ces travaux il n'en existait pas trace, les mots de *propriété exclusive de l'État,* employés pour qualifier la partie du fleuve où se sont formés les atterrissements litigieux, et enfin l'invocation de l'article 41 de la loi de 1807 qui, comme on sait, autorise l'État à concéder les biens publics ou domaniaux énumérés dans ledit article, — cet ensemble de considérations, mises en avant, est bien de nature à laisser croire, tout d'abord : 1° que la Cour admet maintenant la distinction autrefois repoussée entre les alluvions naturelles et les alluvions artificielles, et 2° que la propriété de ces dernières appartient à l'État.

Mais quand on examine l'arrêt plus au fond que dans sa rédaction, l'appréciation précédente ne tarde pas à faire place à une autre qui semble la seule admissible. Que prouve, en effet, le considérant en question? C'est qu'il s'agit ici d'une surface qui appartient encore au lit du fleuve, au domaine public. D'où il suit qu'elle

est indisponible et va le demeurer jusqu'à ce que la délimitation légale ait constaté que les atterrissements formés sont hors du lit, mûrs et susceptibles de propriété privée. Personne ne songera, sans doute, à soutenir que l'article 41 de la loi de 1807 donne au Gouvernement la faculté d'aliéner les choses ou les biens du ***domaine public***, et ce n'est pas non plus dans un pareil ordre d'idées que l'article 41 (*) se trouve invoqué dans le considérant en question, car ce considérant indique et limite explicitement le droit de l'État dont il s'agit ici; ce n'est pas le droit absolu de propriété, mais celui de disposer des atterrissements litigieux comme il l'a fait par les décrets susvisés de 1853 et de 1854, autrement dit le droit incontesté et incontestable de faire encaisser par le trésor l'indemnité de plus-value due par le riverain, quand le moment

---

(*) L'article 41 de la loi du 16 septembre 1807 n'est pas générateur d'un droit de propriété pour l'État, comme nous l'avons déjà fait remarquer à l'occasion de l'arrêt de la Cour d'Agen du 11 novembre 1840. Il se rattache à l'idée nouvelle proclamée par l'Assemblée constituante qu'il n'est pas bon que l'État possède longtemps de simples propriétés foncières qui, en ses mains comme en celles de toutes autres personnes morales, sont frappées de stérilité, mais deviennent plus productives lorsqu'elles sont livrées, par des aliénations, aux efforts de l'activité individuelle. A côté de ce principe, puisé aux saines notions de l'économie politique, il y en a un autre posé par l'article 8 de la grande loi des 22 novembre-1er décembre 1790, base de toute la législation française en matière d'aliénation des biens du domaine, à savoir, *qu'aucune aliénation domaniale ne doit avoir lieu qu'en vertu d'une loi.* Ce second principe souffre des exceptions spécifiées par quelques lois postérieures à 1790, et l'article 41 de la loi de 1807 a, précisément, pour but d'énumérer certaines dépendances du domaine public ou du domaine de l'État, pour lesquelles, à la condition, bien entendu, qu'elles soient vendables ou rendues telles, le Gouvernement a la faculté de faire des concessions par lui-même, sans qu'une loi spéciale doive autoriser chaque concession; mais il est clair que toute contestation sur l'objet même de la concession et sur le droit de propriété de l'État ne peut être vidée que par l'autorité judiciaire. (Voir le *Cours de droit administratif* de M. Ducrocq, tome II, pages 116, 154 et 156.)

en sera venu, et quand toutes les formalités légales auront été accomplies. Jusqu'à ce moment, il n'y a pas, et il ne peut pas y avoir de question de propriété engagée pour les atterrissements (*).

Une lecture attentive du 6e considérant et du dispositif de l'arrêt en question donnera, croyons-nous, la conviction que tel est, au fond, le sens de l'arrêt en question. Qu'on le remarque, en effet, l'arrêt de la Cour de Rouen est cassé pour fausse application de l'article 556 du Code civil, et cette fausse application se trouve constituée par cette circonstance, que la Cour de Rouen a déclaré les riverains propriétaires d'atterrissements non sortis légalement du lit du fleuve, et qu'elle en a attribué les produits auxdits riverains, alors que ces produits ne pouvaient appartenir qu'à l'État, chargé de la garde et de l'administration des choses du domaine public; l'arrêt est en outre

---

(*) A ce sujet, nous appellerons aussi l'attention sur le cinquième considérant de l'arrêt, dont la rédaction, non pour le fond, mais dans la forme, nous semble aussi prêter le flanc à une interprétation erronée; il y est dit que les décrets susvisés de 1853 et 1854 contiennent la *promesse éventuelle* de l'État d'abandonner en toute propriété aux riverains, moyennant l'indemnité de plus-value à verser au trésor, les atterrissements litigieux nés et à naître. Assurément, une promesse de ce genre est, au fond, impliquée, moins toutefois dans lesdits décrets, qui ne stipulent réellement aucune promesse, que dans les transactions auxquelles ces décrets donneront naissance, et qui vont intervenir entre l'État et le riverain au sujet de la question de propriété des atterrissements. Mais tant que le riverain ne s'est pas lié par une acceptation formelle qui prévient tout débat sur la question de propriété, par l'accord voulu des parties en présence, cette question demeure ouverte, et le jour où les alluvions sont mûres, elle peut être portée devant les tribunaux ordinaires, juges souverains du fait et du droit en cette matière. Il n'y a donc pas, dans l'espèce, et les débats judiciaires intervenus le prouvent surabondamment, promesse dans le sens rigoureux du mot; de ce que le riverain est libre, jusqu'au bout de l'entreprise, de faire valoir son droit à la propriété des alluvions, il suit que l'autorité judiciaire proclamerait aussi, le cas échéant, le droit corrélatif qu'elle viendrait à reconnaître à l'État.

cassé pour violation des articles 41 et 30 de la loi de 1807, et cette violation résulte aussi de la circonstance qu'on vient d'indiquer; car du moment que l'on reconnaît aux riverains, comme le fait l'arrêt de la Cour de Rouen, la *propriété immédiate ou actuelle* des atterrissements litigieux, dans le sens complet du mot propriété, il est bien clair que l'on empêche l'État de faire valoir son droit aux produits d'un bien du domaine public, et son droit de réclamer au riverain l'indemnité de plus-value, quand le moment en sera venu.

22. *Arrêt de la Cour de Paris du* 6 *août* 1870. (Héritiers de Condé.) *Confirmation de l'interprétation donnée à l'arrêt de la Cour de cassation du* 7 *avril* 1868.— L'interprétation de l'arrêt de la Cour de cassation du 7 avril 1868, telle que nous nous sommes attaché à la justifier dans le paragraphe précédent, se trouve confirmée par une autorité considérable en cette matière, par la Cour d'appel de Paris à laquelle l'affaire a été renvoyée, après la cassation de l'arrêt de la Cour de Rouen. L'arrêt de la Cour de Paris a été rendu le 6 août 1870; si cette Cour avait adopté aussi l'appréciation de la Cour de Rouen, l'affaire serait revenue devant la Cour de cassation, qui se serait trouvée amenée à rendre un nouvel arrêt dans la forme solennelle de la réunion de toutes les chambres. Rien de semblable n'existe au sujet de la doctrine de la Cour de cassation à laquelle l'arrêt de la Cour de Paris adhère complétement, et qu'elle reproduit dans une forme qui nous semble supérieure à celle de l'arrêt du 7 avril 1868 : on en jugera par la lecture de l'arrêt de la Cour de Paris que nous reproduisons, *in extenso*, dans les documents annexés à la présente note.

Le texte de cet arrêt est si précis et si clair que nous nous dispenserons d'en donner une analyse qui risquerait d'en affaiblir la portée ; nous aurions été plutôt tenté d'en reproduire ici tout le 7ᵉ considérant qui présente, appliquée

à l'espèce et dans une forme où pas un mot ne nous semble à changer, la doctrine que nous avons voulu soutenir. Nous ferons remarquer, en particulier, le soin qu'a pris la Cour de Paris de proclamer que les atterrissements litigieux, dans l'espèce, appartiennent encore au domaine public, employant ainsi le mot propre et caractéristique, au lieu de se servir de la formule sujette à doute et à interprétation qu'avait employée la Cour de cassation et qui consistait à dire que lesdits atterrissements sont demeurés *la propriété exclusive* de l'État. En même temps l'arrêt de la Cour de Paris montre nettement que la fausse application de l'article 556 par la Cour de Rouen résulte de ce que, dans le moment actuel, les atterrissements litigieux n'étant pas encore consolidés à l'état de terrain définitivement émergé, il ne saurait y avoir lieu de reconnaître au riverain, quant à présent, le droit d'accession de l'alluvion prévu et réglé par ledit article 556.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Essayons maintenant de résumer les considérations développées dans les paragraphes précédents et d'en dégager la réponse à faire à la question posée, au commencement de cette note, au sujet des droits de l'État et du riverain sur les alluvions artificielles.

1. *Pas de question de propriété avant la maturité des alluvions.* — Avant tout, il convient de ne pas perdre de vue que la question de propriété n'est pas susceptible d'être débattue devant les tribunaux, tant que les atterrissements litigieux sont encore compris dans le domaine public fluvial, et qu'il appartient exclusivement à l'adminis-

tration, sous le contrôle du Conseil d'État, de reconnaître et de constater les limites naturelles et actuelles du domaine public (*).

II. *Alluvions artificielles mûres.* — En ce qui touche les *alluvions mûres*, où l'autorité judiciaire est seule compétente pour en décider l'attribution de propriété, suivant les cas, soit au riverain, soit à l'Etat, les principes fondamentaux et directeurs sont ceux qui sont inscrits dans le Code civil.

1° *Question de propriété tranchée au profit du riverain.* — L'alluvion appartient au riverain toutes les fois que le juge du fait et du droit constate et reconnaît qu'il y a *adhésion à la rive* (qui peut être celle d'une île aussi bien que celle d'un continent) et que la ***formation*** en a été *successive* et *imperceptible.* Quand ces conditions, déduites de la définition légale de l'alluvion, sont remplies, il n'y a pas (**), du moins d'après la jurisprudence en vigueur

(*) L'incompétence de l'autorité judiciaire, pour la délimitation du domaine public fluvial et maritime, n'est pas admise dans le sens absolu, tel que nous venons de le formuler d'après la doctrine du Conseil d'État, ni par l'autorité judiciaire, ni par le nouveau tribunal des conflits. (Voir la note sur la délimitation des cours d'eau, *Annales des ponts et chaussées*, cahier d'octobre 1874.) Toutefois le dissentiment ne porte plus que sur un seul point : l'autorité judiciaire persiste encore à se considérer comme compétente pour reconnaître si, dans la délimitation du domaine public faite par l'administration, il y a eu lésion, ou non, d'un titre ou d'un droit de propriété privée, et pour prononcer, dans le cas de l'affirmative, non la réintégration dans le droit, mais une indemnité de dépossession. Nous avons exposé, dans la note précitée, les motifs pour lesquels cette doctrine de l'autorité judiciaire paraît contraire à la conséquence logique du point de départ commun des deux autorités, et inconciliable avec le principe de la séparation des pouvoirs qui interdit à l'autorité judiciaire l'appréciation des actes de l'autorité administrative, à moins d'un texte spécial et formel qui fait absolument défaut en cette matière.

(**) Nous nous faisons un devoir de rappeler ici qu'à côté de l'appréciation, telle que nous venons de la formuler, comme conclusion de notre examen, et par conséquent, en termes qui paraîtront un peu absolus, peut-être, il existe une autre opinion plus

jusqu'à ce jour, à distinguer si des ouvrages de main d'homme ont été, à côté des causes naturelles, l'occasion et la circonstance *adjuvante* de la formation de l'alluvion, dite alors artificielle ; mais l'État n'est pas empêché, pour cela, de faire valoir ses droits à une indemnité de plus-value, en raison des travaux faits, et en compensation des dépenses supportées par lui, pourvu, d'ailleurs, que toutes les formalités légales voulues soient remplies, en vue de la revendication de ladite plus-value.

2° *Question de propriété tranchée au profit de l'État.* — Toutes les fois que l'État pourra établir, avec succès, que l'alluvion ne s'est pas formée dans les conditions de sa définition légale (*formation successive, imperceptible, avec adhésion à la rive, de manière à en être comme le prolongement*) et qu'elle est, d'ailleurs, le résultat des travaux et dépenses de l'État, l'autorité judiciaire *sera empêchée* d'en attribuer la propriété au riverain et l'attribuera à l'État (*).

---

favorable à l'État, et qui nous impose une grande réserve. Lorsque des atterrissements se déposent en arrière d'une digue ne constituant pas une rive nouvelle, les phénomènes de leur formation sont si complexes que la part à faire, respectivement à ce qui est dû aux causes naturelles et à ce qui est la conséquence exclusive de l'influence de la digue, constitue un problème à peu près insoluble. Appliquant le principe que nul ne peut s'enrichir aux dépens d'autrui, les partisans de l'opinion dont nous faisons ici expressément la réserve, pensent que dans tous les cas où il est reconnu qu'antérieurement à l'exécution de la digue il n'y avait pas trace d'alluvion (d'où, par suite, la présomption que les atterrissements sont dus exclusivement à l'influence de la digue), la tendance actuelle de l'autorité judiciaire est d'en attribuer la propriété à l'État qui pourra les concéder en vertu de l'article 41 de la loi du 16 septembre 1807, sauf à respecter, au profit du riverain, le privilége de la préemption qui est ici, en sa faveur, dans l'esprit de la loi du 24 mai 1842 et dans celui de l'article 53 de la loi de 1807.

(*) Se reporter aux espèces caractéristiques de l'arrêt de la Cour de cassation du 8 décembre 1863 (affaire Petit), et de l'arrêt de la Cour de Bordeaux du 4 avril 1870 (Gièze).

On peut se demander s'il ne naît pas, en pareil cas, au profit

III. *Alluvions artificielles naissantes. Mesures transactionnelles et concessions anticipées.* — En ce qui touche les *alluvions artificielles naissantes :*

Étant entendu, comme il est dit dans la conclusion I, que la question de propriété ne devient un litige, devant l'autorité judiciaire, que lorsque ces alluvions sont mûres, étant entendu aussi qu'il ne s'agit pas d'une digue formant une rive nouvelle,

Il est incontestable, d'une part, que le riverain n'a encore aucun droit à faire valoir sur la propriété des alluvions naissantes, et, d'autre part, que rien ne s'oppose à ce que l'État aliène les droits qu'il a, comme gardien-conservateur et administrateur du domaine public fluvial, à la jouissance immédiate desdits atterrissements. De plus, et c'est là le côté essentiellement pratique de la question, consacré déjà, d'ailleurs, par de nombreuses applications faites par l'administration, il sera, le plus souvent, opportun et de bonne administration de tenter la voie des transactions avec les riverains, en cherchant, dans des actes de concession anticipée, à concilier les droits de l'État, sous forme d'indemnité de plus-value à payer au trésor, avec les droits de propriété qui pourraient être éventuellement et ultérieurement reconnus par l'autorité judiciaire en faveur du riverain (*).

du riverain, un droit à indemnité, lorsque l'État, comme c'est ici son droit et même, dans l'intérêt général, son devoir, aliénera l'alluvion et introduira un nouveau riverain au préjudice de l'ancien. L'autorité judiciaire n'a pas à en connaître, puisqu'il s'agit alors d'un dommage résultant de travaux publics, dont l'appréciation, comme dommage direct ou indirect, appartient au juge de l'ordre administratif. Accorder alors au riverain le privilége de la préemption, dans l'esprit de la loi du 24 mai 1842, ce sera incontestablement un acte de bonne administration et une solution souverainement équitable.

(*) On prévient ainsi, très-avantageusement, dans la plupart des cas, la naissance même du litige sur la question de propriété, et les incertitudes qu'il comporte encore dans l'état actuel de la jurisprudence; nous n'aurions quelque chose à changer à cette

ANNEXES.

N° 1.

Arrêt de la Cour de cassation du 8 juillet 1829. — (Archinard.)

La Cour,

Sur le grief résultant des articles 556 et 560 du Code civil : — Attendu, en droit, que lesdits articles 556 et 560 comprennent également les atterrissements dans leur contexte ; mais que, dans le deuxième de ces articles qui attribue à l'État les atterrissements, îles et îlots, il s'agit uniquement de ceux qui se forment *dans* le lit des fleuves et rivières navigables, tandis que par l'article 556, les accroissements et atterrissements qui se forment successivement et imperceptiblement *aux fonds riverains* d'un fleuve ou d'une rivière navigable appartiennent aux propriétaires riverains ; — Attendu, en fait, que l'arrêt attaqué, en adoptant les motifs du jugement de première instance, reconnaît que les atterrissements et graviers revendiqués par l'État *se sont formés sur la rive droite de la Drôme*, soit par une alluvion insensible, soit par les relais que forme l'eau courante qui se retire, ce qui excluait l'application de l'article 560 du Code civil, et justifiait l'application qui a été faite de l'article 556 du même Code ; — Attendu que la circonstance des travaux faits à main d'homme n'a pu, dans l'espèce particulière, mettre obstacle à l'application des règles établies pour déterminer le caractère des alluvions, puisque l'arrêt constate, en fait, que cette alluvion a été insensible, ce qui exclut l'idée d'un changement immédiat opéré par ces travaux ; — Attendu enfin que la mesure de police établie par les articles 42 et 44, titre 27, de l'ordonnance de 1669, pour la conservation de la libre navigation, ne peut être invoquée pour repousser l'application de l'article 556 du Code civil, alors surtout que l'arrêt constate que la digue faite en 1785 l'a été sur le plan donné par l'administration des ponts et chaussées ; — Rejette, etc.

---

conclusion que si, contrairement à notre appréciation, devant l'autorité judiciaire, devait prévaloir, un jour, l'opinion d'après laquelle l'État a formellement droit à la propriété des alluvions artificielles, dans le sens expliqué dans la réserve faite ci-dessus à la conclusion II, parce qu'alors, évidemment, l'application de l'article 30 de la loi du 16 septembre 1807 deviendrait préjudiciable au trésor.

N° 2.

10 août 1838. — Jugement du tribunal d'Agen ainsi conçu :

Préfet de Lot-et-Garonne contre de Ballias. — Le tribunal ; — Attendu que le droit des riverains aux terrains qui se joignent à leurs propriétés sur le bord des rivières, est un principe non-seulement de droit civil, mais encore de droit naturel : *Quod per alluvionem agro tuo flumen adjicit, jure gentium tibi adquiritur* (Just., *De rerum divisione*, § 20) ; — Attendu que ce principe repose à la fois sur la force de l'accession et sur la compensation qu'il est juste d'établir entre les inconvénients et les avantages attachés à la riveraineté des fleuves ; — « Les alluvions, disait M. Portalis (exposé des motifs du Code civil, titre de la Propriété), doivent appartenir au propriétaire riverain, par cette maxime naturelle que le profit appartient à celui qui a été exposé à souffrir le dommage, dont les propriétés riveraines sont menacées plus qu'aucune autre. Il existe, pour ainsi dire, une sorte de contrat aléatoire entre le propriétaire du fonds riverain et la nature, dont la marche peut à chaque instant ravager ou accroître ce fonds ; » —Attendu que l'article 556 du Code civil, édicté sous l'influence de ces principes, qualifie d'alluvions les atterrissements qui se forment successivement et imperceptiblement aux fonds riverains d'un fleuve ou d'une rivière, et adjuge aux propriétaires riverains ces atterrissements ; — Attendu qu'il est remarquable que cet article n'ajoute pas aux deux conditions résumées par ces mots, *successivement* et *imperceptiblement*, la condition extensive mise en avant par le domaine, que les atterrissements se sont formés naturellement et spontanément, que cette seule considération doit faire proscrire sa distinction, car il n'est pas permis d'ajouter à la loi ; mais qu'au surplus, dans les principes purs du droit, l'alluvion n'est qu'une dérivation du droit d'accession ; c'est sous cette rubrique que le législateur s'en occupe ; or l'article 546, qui n'est que la définition et le principe générateur du droit dont le législateur déduit et classe tous les développements sous les articles suivants, dispose formellement que la propriété d'une chose, soit mobilière, soit immobilière, donne droit sur tout ce qui s'y unit, soit naturellement, soit artificiellement ; d'où il suit bien évidemment que, dans les principes du Code civil, la force du droit d'accession assure au propriétaire riverain l'alluvion même artificielle ; que c'est ainsi, au surplus, que l'a jugé en thèse la

Cour de cassation par arrêt du 8 juillet 1829, confirmatif d'un arrêt de la Cour royale de Grenoble, du 30 août 1828;

Attendu que l'État invoque vainement les dispositions des articles 538 et 560 du Code civil combinés;—Attendu que le Code civil, comme l'ancien droit, ne donne à l'État que les atterrissements formés au milieu des rivières navigables, sans adhérence aux rives; que de tous les temps on a distingué les alluvions ou atterrissements des rives d'avec les atterrissements qui pourront surgir au sein d'un fleuve, par le résultat d'une perturbation dans le cours des eaux ou toute autre cause, mais sans adhérence à la terre ferme; que déjà l'arrêt de la Cour de cassation de 1829 a proscrit l'application que le domaine entend faire de l'article 560 sur la violation duquel le pourvoi était fondé; qu'un dernier arrêt de la même Cour confirme la distinction ci-dessus établie et repousse l'application de l'article 560, au cas où l'atterrissement est adhérent au fonds riverain; — Attendu, d'après cela, qu'il devient oiseux d'examiner si, comme le prétend l'État, le lit ou canal dans lequel coule le fleuve, tombe dans sa propriété; ou si, comme le prétend le sieur de Ballias, en distinguant, d'après la loi de 1790, le domaine public du domaine de l'État, l'État n'a d'autre droit sur les fleuves que celui de la puissance publique et de la souveraineté, qu'un droit, en un mot, de police générale qui s'éteint en même temps que le lit du fleuve cesse d'être affecté à l'usage public; que la législation consacrant les conquêtes de la rive sur le lit du fleuve, quelle qu'en soit la nature, par voie d'adjonction ou d'accession, soit naturelle, soit artificielle, d'atterrissements successifs et imperceptibles; il ne reste plus qu'à examiner si ces deux conditions existent en faveur du sieur de Ballias; — Attendu que les atterrissements dont il s'agit ont été le résultat d'une succession de temps, d'une adjonction successive à la rive de sables, limons ou graviers, et créés par le retrait des eaux dont tout l'effort était rejeté, surtout après la construction de la jetée du pont, sur la rive droite; — Attendu que vainement, pour placer la cause sur un terrain plus délicat, l'État offre de prouver que l'espace comprenant les atterrissements litigieux a été instantanément et subitement séparé du lit du fleuve et a cessé d'en faire partie; que cette offre de preuve, produite seulement à l'audience, est en contradiction *flagrante* avec sa demande, avec le mémoire adressé par le directeur du domaine à M. le préfet, le 20 septembre 1837, le rapport de l'ingénieur où il est question d'atterrissements d'un progrès assez rapide, provoqués par des travaux de tunage et activés par la levée du pont; que cette offre de

preuve semble s'envelopper d'un vague calculé; qu'elle ne précise et ne spécialise rien; que si le domaine veut établir une dessiccation ou une séquestration instantanée de partie du lit du fleuve, ou l'érection subite et immédiate des atterrissements revendiqués, toutes choses d'une impossibilité matérielle, il devrait l'articuler avec précision; et dans ce cas, le tribunal aurait à examiner la portée d'un tel état de choses; que si, au contraire, la preuve ne tend qu'à établir le fait en lui-même de la ligne des travaux ou nasses contigus à la jetée, créée dans le fleuve en vue de ramener plus ou moins prochainement, à une époque indéterminée, la rive gauche à ces limites, cette preuve est surabondante et sans pertinence, car ce fait n'est pas contesté, et la contradiction n'existe que par ses effets légaux;

Attendu qu'il est de notoriété publique pour le tribunal, et incontestable dans la cause, que la berge du sieur de Ballias a constamment suivi le flot; que les eaux du fleuve n'ont jamais cessé de courir et d'avoir accès au delà de la ligne des travaux exécutés par l'État; que si cette berge s'est rapprochée toujours, en suivant le flot vers la culée du pont, ce n'est que par le résultat d'incorporation et de superposition successives de couches de terrain dues à un laps de temps de deux années; qu'une partie des alluvions revendiquées par le domaine n'est même encore qu'à l'état d'alluvions naissantes; — Que sans doute le développement de ces atterrissements a pu être plus ou moins rapide; mais qu'il suffit qu'ils n'aient pas surgi immédiatement, qu'ils aient été successifs, qu'on ne puisse pas dire à quel moment précis telle ou telle partie s'est adjointe à la rive, *quo temporis momento ripæ adjiciatur*; que, d'autre part, ils soient adhérents à la rive, pour qu'ils aient tous les caractères légaux de l'alluvion, et à ce titre appartiennent aux propriétaires riverains; — Attendu qu'en présence des dispositions du Code civil sur le droit des propriétaires riverains, ce droit dont le principe est sacré ne saurait leur être enlevé que par une disposition législative, précise, qui ferait dévolution à l'État des alluvions artificielles qui pourraient prendre leur source dans les travaux par lui exécutés ou concédés dans le lit des fleuves; — Attendu qu'on chercherait vainement une telle disposition dans la loi de 1807 dont le domaine excipe; — Que si cette loi eût entendu déroger aux principes du Code civil et conférer à l'État le droit qu'il réclame, elle n'aurait pas manqué de s'en expliquer, alors qu'elle introduisait un droit nouveau et d'une portée aussi générale et aussi importante; — Qu'il serait assurément plus qu'étrange qu'un droit aussi étendu, aussi grave, et qui aurait à tant

d'égards nécessité, pour être régularisé dans son exercice, une législation particulière, fût livrée aux hasards et aux incertitudes de l'induction; — Que ce n'est cependant que par induction que l'État tire de l'article 41 de la loi de 1807 le droit dont il réclame la consécration; — Attendu que cet article, placé sous un titre spécial de la concession de divers objets dépendant du domaine, titre sans liaison saisissable avec les autres, se borne à disposer que le Gouvernement concédera aux conditions qu'il aura réglées, les marais, lais et relais de la mer, le droit d'endigage, les accrues, atterrissements et alluvions des fleuves, des rivières et torrents, quant à ceux de ces objets qui forment propriété publique ou domaniale; — Attendu que le domaine induit de ce texte : *l'État concédera les accrues, atterrissements et alluvions des fleuves rivières, etc.*, que, puisque la loi donne à l'État le droit de concession de pareils objets, c'est qu'elle l'en reconnaît propriétaire; — Mais attendu que cet article, qui sans cela serait de toute absurdité, puisque personne ne contestera que les alluvions des fleuves appartiennent en principe aux propriétaires riverains, puisque les marais par cette même loi ne sont pas dévolus à l'État, restreint le droit de concession de l'État à ceux des objets, énumérés audit article, qui forment propriété publique ou domaniale, en sorte que cette restriction laisse toujours à examiner quels sont les biens qui entrent dans cette propriété publique ou domaniale de l'État; — Attendu que toute la loi de 1807, par son économie, son texte et son esprit basé sur le respect de la propriété, résiste à l'interprétation du domaine; — Qu'il suffit pour s'en convaincre de lire attentivement l'article 30 de cette loi, placé sous le titre spécial des travaux de navigation, des digues, etc.; — Qu'aux termes de cet article, combiné avec l'article 28, les travaux de navigation exécutés par l'État, comme tout autre genre de travaux, ne le rendent pas propriétaire des avantages conquis par ces travaux; que cet article n'assujettit même les propriétaires à qui ces avantages sont dévolus, qu'à une indemnité égale à la moitié des avantages conquis; or, comment admettre que le législateur eût proclamé sous l'article 41, précisément en matière d'alluvions artificielles produites par les travaux d'endigage ou de navigation, un principe, une disposition diamétralement opposée au texte et à l'esprit de l'article 30;

Attendu que le domaine ne saurait invoquer avec plus de succès, comme autorité, les propositions ou projets de loi qui ont pu être portés aux Chambres sur la matière; — Attendu que le dernier projet présenté à la Chambre des députés, par MM. Jaubert, Teste

et Ménard, n'était en effet, comme le démontre son titre *Des alluvions artificielles*, que la traduction en dispositions législatives des prétentions actuelles du domaine, c'est-à-dire la dévolution à l'État des alluvions artificielles; — Mais que ce projet échoua devant l'examen de la Chambre, et qu'il ne fut pas même passé à la discussion des articles, sur les observations des jurisconsultes les plus influents qui représentaient ce projet comme violant le droit de propriété consacré pour les riverains par le Code civil, et tous les principes admis jusqu'alors en pareille matière; — Qu'ainsi, l'interprétation de la puissance législative serait un argument de plus dans l'état de la législation, contre les prétentions du domaine, loin de les sanctionner de son autorité; — Attendu sans doute, que la circonstance des travaux exécutés par l'État dans un fleuve, pourrait donner naissance à une indemnité contre le propriétaire riverain, s'il était justifié qu'ils lui ont profité, nul ne pouvant s'enrichir au détriment d'autrui; mais que le tribunal n'étant nanti par le domaine que d'une question pure de propriété, nulle indemnité n'étant réclamée, nulle réserve même, quant à ce, n'étant faite, ne peut que se renfermer dans la demande; — Par ces motifs, le tribunal, sans s'arrêter aux offres de preuves articulées par l'État et les rejetant, déclare l'État sans droit de propriété sur les atterrissements ou alluvions qui se sont formés sur le fonds de la propriété du sieur de Ballias, en aval et en amont de la jetée du pont de Marmande; — Déclare au contraire, partant que de besoin, le sieur de Ballias propriétaire desdits atterrissements.

Appel. — Arrêt :

La Cour;

Adoptant les motifs des premiers juges, confirme.

(Du 11 novembre 1840. Cour d'Agen.)

N° 3.

Arrêt de la Cour de cassation du 6 août 1848. — (Paris-Labrosse.)

Le lecteur est prié de se reporter aux *Annales des ponts et chaussées*, 1849, p. 257.

N° 4.

Arrêt de la Cour de cassation du 8 décembre 1863. — (Petit.)

Le sieur Petit est propriétaire, dans la commune de Trouville, d'une parcelle de terrain située près de la rivière navigable de la Touques, à quelques centaines de mètres au-dessus de son embouchure dans la mer, et qui a été séparée de cette rivière, en 1840, par l'établissement de la route départementale de Saint-Pierre-de-Dives à Trouville. Entre cette route et le terrain du sieur Petit se trouve une autre parcelle de 17 mètres de profondeur sur 11 mètres de largeur, périodiquement couverte par les eaux de la mer, lors des marées des nouvelles et pleines lunes, jusqu'en 1840, époque où les travaux de la route ont fait de cette parcelle un atterrissement à l'abri de l'invasion périodique des hautes marées. La commune de Trouville, prétendant être propriétaire de cet atterrissement, comme formant une dépendance du lit de la rivière, et comme appartenant, dès lors, à l'État, aux droits duquel elle était substituée, le revendiqua contre le sieur Petit qui en avait la possession. — Le sieur Petit se défendit, en invoquant, d'une part, la prescription trentenaire, et en soutenant, d'autre part, que les atterrissements des fleuves et rivières navigables adhérant aux pieds des riverains étaient la propriété de ces derniers.

Le 9 août 1860, jugement du tribunal de Pont-l'Évêque, qui accueille l'action en revendication de la commune dans les termes suivants : « Attendu que le lit des fleuves et rivières se détermine par la hauteur des eaux aux marées de nouvelle et pleine lune ; qu'on ne saurait excepter du lit des fleuves une partie du terrain périodiquement couverte par ces eaux qui en gardent par ce fait même une occupation continue ; — Attendu que l'article 538 du Code Napoléon dispose que les fleuves et rivières navigables sont considérés comme dépendances du domaine public, insusceptibles par cela même de propriété privée ; — Attendu que la propriété du riverain s'arrête à la limite des eaux baignant son fonds, et ne peut s'accroître que des atterrissements et accroissements adhérents audit fonds et qui se sont formés successivement et imperceptiblement, ou des relais résultant du retrait insensible de l'eau sur la rive opposée ; qu'on ne saurait étendre la propriété sous l'eau jusqu'au milieu du lit de la rivière sans se mettre en contradiction avec la loi qui, en disposant en faveur de l'état des îles, îlots et atterrissements qui se forment dans le lit des rivières na-

vigables sans adhérence à la propriété riveraine, désigne le véritable propriétaire du fonds par l'attribution qu'elle fait de l'accessoire; — Attendu que les faits susrelatés suffisent à établir que le terrain revendiqué a continué jusqu'à cette époque de faire partie du lit de la rivière, et qu'il n'a pu dans cette période être susceptible de propriété privée; — Attendu qu'en 1840, l'établissement de la route dont il vient d'être parlé a séparé le terrain revendiqué du cours actuel de la rivière, et l'a mis définitivement à l'abri de la submersion; qu'il faut apprécier l'effet de cette situation nouvelle; — Attendu que l'imprescriptibilité qui s'attache au lit des rivières navigables faisant partie du domaine public, cesse au cas où l'eau, abandonnant le terrain qui formait son lit, rend ce terrain à la condition ordinaire, la destination publique qui le protégeait ayant disparu; qu'il s'agit de savoir à qui en est dévolue la propriété; — Attendu qu'à la présomption de propriété en faveur de l'État déduite ci-dessus de l'article 560 du Code Napoléon, il faut ajouter les dispositions de l'article 541 du même Code qui attribue à l'État la propriété des dépendances du domaine public ayant cessé d'en faire partie, sauf le cas d'aliénation valable ou de prescription; — Attendu que la loi du 16 septembre 1807 n'a pas abrogé les articles précités; qu'elle n'exprime dans aucune de ses parties l'idée de la propriété du riverain sur la chose sortie du domaine public; qu'elle confirme, au contraire, les dispositions du Code Napoléon, en accordant à l'État, dans l'article 41, un droit de concession qui suppose la propriété de la chose à concéder; — Attendu qu'en l'absence d'un droit de propriété sur le terrain, modifié par suite des travaux de 1840, le sieur Petit n'a reçu de l'État aucune concession dudit terrain; que, d'un autre côté, la durée de la possession qui a été reconnue lui appartenir est insuffisante pour lui assurer le bénéfice de la prescription; — Par ces motifs, le tribunal accorde acte à la commune de Trouville.....; — 2° De ce qu'elle méconnaît hautement et positivement que longtemps avant 1840 un atterrissement tel quel se fût accru sur le terrain litigieux; qu'elle soutient, au contraire, qu'en 1840, époque de la construction de la route départementale, ce terrain avait et a conservé depuis, jusqu'à ce qu'on l'ait remblayé, le même niveau qu'il avait cinquante ans auparavant sans qu'une alluvion quelconque, à quelque degré de formation que ce soit, s'y fût jamais manifestée; — Et faisant droit sur l'action en revendication de la commune.....; sans avoir égard au moyen invoqué par le sieur Petit, d'une possession impossible, impuissante en elle-même, non opposable à la commune et tout à

fait inefficace pour opérer prescription, non plus qu'à cet autre moyen qu'il fonde sur une alluvion prétendue, qui n'est pas et n'a jamais existé; — Dit et juge à bonne cause l'action du 14 janvier 1856; que, par suite, la commune de Trouville est seule et unique propriétaire du terrain litigieux tel qu'il est ci-dessus désigné et borné; condamne en conséquence ledit sieur Petit à cesser toute occupation de ce terrain dont il s'est indûment emparé, etc. »

Sur l'appel du sieur Petit, arrêt de la Cour de Caen, du 27 novembre 1861, qui confirme, en adoptant les motifs des premiers juges.

Motifs du pourvoi en cassation du sieur Petit. — 1° Violation des articles 556 et 557 du Code Napoléon et fausse application de l'article 538 du même Code, en ce que l'arrêt attaqué a considéré comme faisant partie du lit d'une rivière navigable se jetant dans la mer, et dès lors comme imprescriptible, une parcelle de terrain qui, située vers l'embouchure de cette rivière, se trouve couverte périodiquement par les plus hautes marées, mais ne dépasse pas le niveau des plus hautes eaux fluviales, abstraction faite des marées.

2° Violation de l'article 551 du Code Napoléon, et fausse application du même article et des articles 546, 561 du même Code et 41 de la loi du 16 septembre 1807, en ce que dans tous les cas, l'arrêt attaqué a attribué à tort à l'État un atterrissement qui, bien que provenant d'une rivière navigable, appartient aux riverains à l'héritage desquels adhérait cet atterrissement.

Arrêt de la Cour de cassation.

La Cour; sur le premier moyen, tiré de la violation des articles 556 et 557 du Code Napoléon, par fausse application de l'article 538 du même Code, en ce que l'arrêt attaqué aurait jugé que le lit d'une rivière navigable, aboutissant à la mer, se détermine par la hauteur des eaux, lors des marées des nouvelles et pleines lunes, et décidé par suite qu'un terrain ainsi périodiquement envahi par la mer était inaliénable et imprescriptible comme le lit de la rivière dont il faisait partie, et n'avait pu dès lors devenir la propriété du riverain, soit à titre d'alluvion, soit par l'effet d'une prescription légalement impossible :

Attendu, en droit, que le lit des rivières comprend tout le terrain qu'atteignent et couvrent, dans les habitudes de leur cours et sans débordement, les eaux parvenues à leur plus haut point d'élévation, quelle que soit la cause de cette élévation, et alors

même qu'elle serait le résultat du reflux périodiquement occasionné par les marées ordinaires;

Attendu que l'arrêt attaqué constate en fait que, jusqu'en 1840, époque des travaux exécutés par l'État sur les bords de la Touques, le terrain litigieux n'avait point cessé d'être périodiquement envahi par ces eaux qui, si elles se retiraient lors de la marée basse, laissaient cependant derrière elles les traces de leur occupation;—Qu'il suit de là que, jusqu'à cette époque, ce terrain, que la rivière n'avait point abandonné, continuait à faire partie de son lit, et formait comme lui une dépendance du domaine public inaliénable et imprescriptible, et qu'en jugeant qu'avant la création de la chaussée construite par l'État, il ne s'était formé aucune alluvion de nature à profiter au riverain, et que le demandeur ne pouvait invoquer aucune possession utile, l'arrêt attaqué, loin d'avoir violé les dispositions de loi précitées, en a fait, au contraire, une juste et saine application;

Sur le deuxième moyen, tiré de la violation de l'article 551 du Code Napoléon, par fausse application des articles 546, 561 du Code Napoléon et 41 de la loi de 1807, en ce que l'arrêt attaqué refuse au demandeur la propriété du terrain litigieux aujourd'hui complétement découvert par les eaux, sous prétexte qu'il ne proviendrait pas d'une alluvion, mais constituait un atterrissement subitement formé par l'effet des travaux exécutés par l'État:

1) Attendu que si l'alluvion profite au propriétaire riverain, même sur les bords des fleuves et rivières navigables, ce n'est qu'autant qu'elle s'opère dans les conditions déterminées par la loi;

2) Attendu que l'article 556 du Code Napoléon ne comprend sous cette dénomination que les atterrissements et accroissements qui se forment successivement et imperceptiblement aux fonds riverains d'un fleuve ou d'une rivière; qu'il suit de là que les atterrissements brusquement formés par le retrait subit des eaux ne s'incorporent pas au fonds riverain, quoiqu'ils y soient adhérents, et appartiennent à l'État, sur les bords des fleuves et rivières navigables;

3) Attendu que cette conséquence logiquement tirée de l'article 556 trouve sa confirmation dans l'article 560 qui attribue à l'État, s'il n'y a titre ou prescription contraire, indépendamment des îles et îlots, les atterrissements qui se forment dans les lits des rivières navigables; qu'en effet, dans cet article, l'atterrissement se distingue nécessairement des îles et îlots, et ne peut raisonnablement s'entendre que de l'atterrissement adhérent à la rive, qui se pro-

fait en dehors des conditions exigées par la loi pour constituer et caractériser l'alluvion ;

4) Attendu, en fait, qu'il résulte des constatations souveraines de l'arrêt attaqué que c'est seulement en 1840 et par l'effet immédiat de l'établissement de la chaussée conduisant de Saint-Pierre-sur-Dives à Trouville que le terrain litigieux, jusqu'alors couvert par les hautes eaux, s'est distingué du lit de la Touques dont il se trouvait désormais séparé et a été mis définitivement à l'abri de la submersion ; — Qu'il suit de là qu'en déniant à ce terrain le caractère d'une alluvion et en en attribuant la propriété à la commune de Trouville comme étant aux droits de l'État qui le lui avait cédé, la Cour de Caen n'a fait qu'appliquer justement les principes qui régissent l'alluvion ; — Rejette.

N° 5.

Arrêt de la Cour de Bordeaux du 4 avril 1870. — (Gièze.)

Point de fait :

Par contrat au rapport de Me Dabau, notaire à Bourg, en date du 14 mai 1866, le sieur Gièze s'était rendu acquéreur de l'île de Duras ou de Grattequina, dépendant du territoire de la commune de Blanquefort, et située dans la rivière de la Garonne.

L'État voulant améliorer le cours de cette rivière et faire disparaître des dangers imminents pour la navigation, fit procéder à des travaux considérables sur les bords, et dans le lit même de la Garonne, afin de rétrécir son cours et de creuser son lit.

Dans ce but, il fit successivement construire de l'année 1854 à 1865, par les soins de l'administration des ponts et chaussées, aux abords de l'île de Grattequina trois digues, l'une appelée Bécassin transversale, au bas de la rivière et longeant la rive droite de l'estey de Bécassin située un peu à l'aval de l'île de Grattequina, l'autre dit de Lagrange partant de l'extrémité aval de l'île et allant rejoindre par une ligne courbe, d'abord l'extrémité de la digue de Bécassin et puis, laissant le passage nécessaire pour l'écoulement des eaux de l'estey de Bécassin, la rive gauche de la Garonne, et la troisième dite de Grattequina en amont de cette île et se rattachant à la rive gauche à 2 kilomètres, laissant une libre issue à l'écoulement de la jalle du Graujot.

L'État prétend que par suite de ces travaux l'agglomération des envasements avait été considérable et immédiate.

Le sieur Gièze reconnait, de son côté, que ces travaux avaient favorisé la formation de ces alluvions, mais il soutient que ces envasements, qui avaient mis dix ans à se faire, se sont produits insensiblement et imperceptiblement.

Le 7 novembre 1856, un arrêté de M. le préfet de la Gironde avait fixé les limites de l'île de Grattequina et de la rive gauche de la basse Garonne entre l'extrémité amont de cette île et le port de la Grange.

Sur la demande du sieur Raymond-Duffour, propriétaire riverain, M. le préfet de la Gironde, par un arrêté du 16 mars 1865, l'autorisa à établir un canal d'irrigation à travers les atterrissements compris entre l'ancienne et la nouvelle rive de la Garonne, à l'aval du bras compris entre l'île Grattequina et la rive gauche et à travers la digue appelée de Montferrand, à la charge par lui de construire, sur les bords du canal, des digues de même hauteur que la digue Bécassin.

De son côté, le sieur Ducoin, auteur du sieur Gièze, fut autorisé par un arrêté de M. le préfet de la Gironde, en date du 13 novembre 1865, à faire des plantations sur le terrain compris depuis la rive gauche de l'île Grattequina jusqu'à 10 mètres de distance de la ligne médiane de la partie de l'ancien bras de Blanquefort.

Dans le courant de mai 1866, le sieur Gièze voulant habiter l'île de Grattequina dont il venait de se rendre acquéreur, demanda à M. le préfet de la Gironde l'autorisation de faire construire, à ses frais, une passerelle pour aboutir à la rive gauche de la Garonne, et, par deux arrêtés préfectoraux des 19 juillet 1866 et 7 juin 1867, il y fut autorisé.

C'est dans ces circonstances que, dans le cours de l'année 1867, presque tous les propriétaires riverains avaient demandé à l'État de se rendre acquéreurs de la partie d'atterrissements qui se trouvaient au droit de leurs propriétés jusqu'à la ligne médiane de l'ancien lit du fleuve, dit bras de Blanquefort ou de Grattequina, même au delà du chenal actuel.

Le sieur Gièze, au contraire, protesta contre ces demandes et soutint qu'il était propriétaire des alluvions formées entre l'île à laquelle elles étaient adhérentes jusqu'à la berge du chenal existant, et s'opposa au déplacement du chenal, par le motif qu'ils anticiperaient, par ce travail, sur une propriété qui lui était définitivement acquise.

En exécution d'une décision de M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics du 15 septembre 1867,

Sawicz, délégué à cet effet par M. l'ingénieur en chef du vice maritime, avait, suivant procès-verbal du 10 janvier 1868, t la remise à l'administration des domaines de tous les rains laissés à découvert par la suppression du bras de la ronne dit de Grattequina, compris entre les lignes latérales, ées par arrêté de M. le préfet, le 7 novembre 1856, et, par même procès-verbal, il était établi que ces atterrissements aient été divisés sur le plan en trente-deux lots formés par l'a-ssement des lignes perpendiculaires à l'axe du bras du fleuve pprimé, en nombre égal à celui des propriétaires riverains qui raient en demander l'acquisition par voie de préemption.

Tous ces atterrissements ayant été mis en vente par l'administion des domaines, le sieur Gièze déclara, par exploit du décembre 1867, à M. le préfet, comme représentant légal l'État, qu'il s'opposait à ce qu'il fût passé outre à cette te et dans le cas où son droit de propriété sur ces terrains lui ait contesté par l'État ou par l'administration des domaines, qu'à ce qu'il ait été souverainement statué sur ces prétentions les tribunaux compétents.

Sur les conclusions des parties, le tribunal de première instance Bordeaux rendit, le 27 janvier 1869, un jugement dont le dispositif est ainsi conçu :

Le tribunal, après délibéré, jugeant en premier ressort, dé- Gièze mal fondé tant dans sa demande principale que dans demande subsidiaire, condamne Gièze aux dépens envers toutes parties.

Par exploit du 27 mars 1869, le Sieur Gièze a interjeté appel de jugement et la Cour a eu à statuer sur les questions de droit vantes :

Point de droit,

1° Doit-on autoriser l'appelant à faire l'expertise par lui subsidiairement offerte ?

2° Les terrains, objets du litige, sont-ils des alluvions dans le ns de l'article 556 du Code Napoléon ?

3° Ne doit-on pas reconnaître au contraire qu'ils rentrent dans classe de ceux indiqués par l'article 560 ?

4° La délimitation pratiquée en 1856 a-t-elle eu lieu par appliation de la loi du 16 septembre 1807, et a-t-elle dû par conséent avoir les effets prévus et déterminés par cette loi ?

5° Ne doit-on pas, en écartant les autres conclusions subsidiaires de l'appelant, confirmer la décision attaquée ?

6° *Quid* de l'amende et des dépens ?

Sur les conclusions de l'appelant tendant subsidiairement à expertise :

Attendu que cette mesure est inutile, les documents déjà versés au procès suffisant amplement pour apprécier l'origine, le mode de formation, l'étendue et le caractère des terrains en contestation ;

Au fond, sur la question de savoir si lesdits terrains rentrent dans la catégorie des alluvions attribuées par l'article 556 du Code Napoléon aux propriétaires des fonds riverains :

Adoptant les motifs des premiers juges et y ajoutant ;

Attendu que s'il ne paraît pas possible de considérer, ainsi que l'a fait surabondamment le jugement attaqué, le bras de Grattequina, maintenant fermé à l'aval, mais resté en communication avec le fleuve en amont, comme un lac ou étang régi par l'article 558 du même Code, il ressort également des faits constants au procès que cette portion de l'ancien lit n'est aucunement non plus dans les conditions qui ont déterminé le principe posé par l'article 556 ;

Attendu, en effet, que cet article et le droit qu'il attribue au riverain doivent leur origine, d'une part, à l'impossibilité de saisir au début de ses résultats et de mesurer dans sa marche, l'action lente et occulte exercée par les eaux courantes le long de leurs bords, à la difficulté de distinguer la propriété des accrues qui s'y sont insensiblement incorporées, à l'incertitude qui en résulte sur la limite primitive existante entre la terre et le fleuve avant la formation de ces accrues ; d'autre part, à des considérations d'équité qui veulent que le riverain profite gratuitement de ce que lui apporte le caprice du fleuve comme il souffre sans dédommagements de ce qu'il lui enlève, à l'existence en un mot d'un aléa dont les chances inconnues doivent, bonnes ou mauvaises, être pour lui ou contre lui ;

Attendu qu'il est impossible de rattacher ces caractères aux atterrissements qui ont comblé le bras de Grattequina ; qu'en effet, ils n'ont eu absolument rien d'imprévu ni d'éventuel, qu'ils ont été préparés et imposés au fleuve par les travaux de l'administration, de telle sorte qu'on a pu prévoir le moment où ils ont commencé, déterminer d'avance celui où ils auraient émergé et atteint leur complément, fixer et soumettre au calcul la masse du limon quotidiennement déposé par les eaux sans pouvoir jamais être remporté par elles, en évaluer enfin presque à tout moment le cube et la surface ;

Attendu que des atterrissements ainsi gouvernés dans leurs progrès diffèrent essentiellement de l'alluvion successive et im-

perceptible qui seule appartient aux riverains, qu'ils s'en distinguent encore par une autre circonstance éminemment spéciale et caractéristique en ce qu'ils se sont formés, non le long des rives et uniquement par adhérence avec elles comme l'alluvion, mais par une stratification régulière, par des couches uniformes amenées et effectuées sur toute l'étendue du bras condamné d'avance à disparaître et transformé à cette fin en un bassin d'épuration ouvert à l'entrée des eaux limoneuses, mais fermé à la sortie du limon déposé ; que ces atterrissements, résultat direct, prévu et cherché d'une œuvre d'art, d'un instrument de remblayage mis en action par l'État sur son terrain, alors qu'il a la pleine propriété et possession de celui-ci, ne peuvent, en équité comme en raison, appartenir qu'à lui et rentrent dans la classe de ceux qui, formés dans le lit même des rivières navigables, lui sont attribués par l'article 560 du Code Napoléon ;

Attendu qu'il faut en décider ainsi surtout lorsque, comme dans l'espèce, l'État, au commencement de ses travaux et conformément à la loi de 1807, a constaté par une délimitation, non contestée des riverains, l'étendue et les bornes du lit de rivière à lui appartenant sur lequel il se préparait à opérer le remblayage par atterrissement ; qu'en procédant ainsi l'État a prévenu toute incertitude aussi bien sur l'emplacement que sur la cause des atterrissements qu'il allait faire naître, fourni les moyens de distinguer où et comment ils devaient commencer, et rendre par suite inapplicable l'article 556 fait pour les accroissements alluvionnaires ;

Sur les autres conclusions subsidiaires de l'appelant :

Attendu qu'en admettant même que les contestations sur l'étendue du droit de préemption ouvert par la loi de 1842 au profit des riverains des voies publiques sur les portions de ces voies mises en vente ou concédées par suite de déclassement et de suppression puissent être considérées comme des questions de propriété du ressort des tribunaux ordinaires, l'esprit de cette loi, attesté de la manière la plus formelle par sa discussion devant les Chambres, a été de traiter avec une parfaite égalité les riverains qui se font face et d'arrêter l'exercice de leur droit à la ligne divisoire marquant le milieu exact entre l'un et l'autre, d'où il suit que Gièze ne saurait, sous aucun prétexte, réclamer davantage ;

Adoptant en outre sur ce point les motifs des premiers juges ;

Attendu que Duffour a déclaré à l'audience que, par suite d'arrangement amiable, il renonçait au bénéfice du jugement et que Gièze a accepté cette déclaration ;

Par ces motifs, la Cour dit qu'il n'y a lieu de statuer entre

Glèze et Duffour sur les appels respectivement interjetés et sur le surplus des contestations débattues devant la Cour entre Glèze et l'État;

Sans qu'il soit besoin de prononcer sur la fin de non-recevoir tirée des reconnaissances du droit de l'État par Glèze ou son auteur;

Sans s'arrêter non plus aux conclusions subsidiaires de l'appelant, lesquelles sont rejetées comme mal fondées;

Confirme le jugement attaqué, ordonne qu'il sortira son plein et entier effet, condamne l'appelant à l'amende et aux dépens de la cause d'appel.

N° 6.

Arrêt de la Cour de cassation du 7 avril 1868.—(Héritiers de Condé.

Une loi du 31 mai 1846 a affecté une somme totale de 7 millions à divers travaux de navigation intérieure, dont l'exécution devait employer plusieurs années. Parmi ces travaux figurait l'amélioration de la navigation de la Seine entre Villequier et Quillebœuf; la dépense en était évaluée à 3 millions et son objet principal était de resserrer le lit de la rivière afin d'en augmenter la profondeur. La navigation ne devait pas seule profiter de ce travail; il était également destiné à assainir les terres marécageuses des rives du fleuve et à conquérir de nouveaux et riches terrains pour l'agriculture.

Interrompue ou ralentie après 1848, cette œuvre fut reprise en exécution d'un décret du 15 janvier 1852, qui affecta une somme de 2.800.000 francs à la continuation des travaux d'amélioration de la navigation de la Seine, entrepris en vertu de la loi du 31 mai 1846. Un autre décret du 3 août 1853 autorisa spécialement les travaux nécessaires pour l'endiguement de la Seine sur la rive gauche entre Quillebœuf et La Roque, et un arrêté du préfet de l'Eure fixa les limites de la rive gauche du lit de la Seine au point dont il s'agissait; cet arrêté, en date du 23 février 1854, fut rendu après une instruction qui ne donna lieu à aucune réclamation et il ne fut d'ailleurs point attaqué après sa publication.

Dès le principe, l'administration avait conçu l'idée de provoquer le concours obligatoire des propriétaires riverains, en se réservant les dispositions de l'aticle 30 de la loi du 16 septembre 1807, ainsi conçu: « Lorsque, par suite des travaux déjà énoncés dans

la présente loi; lorsque, par l'ouverture de nouvelles rues, par la formation de places nouvelles, par la construction de quais, ou par tous autres travaux publics généraux, départementaux ou communaux, ordonnés ou approuvés par le Gouvernement, des propriétés privées auront acquis une notable augmentation « de valeur, ces propriétés pourront être chargées de payer une « indemnité qui pourra s'élever jusqu'à la valeur de la moitié des « avantages qu'elles auront acquis : le tout sera réglé par estima- « tion dans les formes déjà établies par la présente loi, jugé et « homologué par la commission qui aura été nommée à cet effet. »
En conséquence, deux décrets des 15 janvier 1853 et 15 juillet 1854, rendus après enquêtes et dans les formes des règlements d'administration publique, ont décidé : 1° que les dispositions de l'article 30 de la loi du 16 septembre 1807 étaient déclarées applicables, au profit de l'État, aux propriétés privées qui avaient acquis ou acquerraient une plus-value par suite de l'exécution des travaux d'amélioration et d'endiguement de la basse Seine effectués ou à effectuer, tant sur la rive droite que sur la rive gauche du fleuve, en vertu de la loi du 31 mai 1846 et des décrets des 16 janvier 1852 et 3 août 1853; 2° que le montant de l'indemnité qui devait être supportée par ces propriétés était fixé à la moitié de la valeur des avantages qu'elles auraient acquis. Les mêmes décrets réglaient l'organisation des commissions spéciales à instituer, et les membres de ces commissions furent ultérieurement nommés par l'empereur.

Pour arriver à la fixation de la plus-value, il devait être procédé, d'après les articles 7 et suivants de la loi de 1807, à deux expertises, l'une avant le commencement des travaux, l'autre après leur achèvement. La première de ces expertises, en ce qui concernait la rive gauche, a été terminée le 18 novembre 1855. Quant à la seconde, elle n'avait pas été et n'avait pu être commencée, lorsque se sont produits les faits qui ont amené le litige soulevé par les héritiers de Condé.

Bien avant d'être achevés, les travaux d'endiguement avaient donné lieu, au droit de la propriété des réclamants, à la formation d'atterrissements considérables, sur lesquels poussaient des herbes abondantes. Pendant les années 1857 à 1861, le domaine fit vendre les herbes à son profit, sans rencontrer aucune opposition. Ces ventes, qui n'avaient rapporté que 1.032 francs en 1857, n'ont pas tardé à produire des sommes bien plus considérables puisqu'elles se sont élevées en 1865 à 56.000 francs et que pour les huit années écoulées de 1857 à 1865, elles ont rendu plus de

120.000 francs. En présence de ces résultats, et par exploit du 6 janvier 1862, Mme veuve de Condé et MM. de Beauvoir et consorts, se prétendant propriétaires *hic et nunc*, en vertu des articles 556 et 557 du Code Napoléon, des atterissements contigus aux terres riveraines qui leur appartenaient, ont assigné l'État devant le tribunal civil de Pont-Audemer, pour voir dire que c'était sans droit que l'État avait fait vendre les récoltes excrues sur les terrains des requérants et s'entendre condamner à la restitution desdites récoltes avec dommages-intérêts.

Le 12 juin 1863, jugement du tribunal de Pont-Audemer, qui déboute les demandeurs de leurs prétentions en ces termes :

« Attendu... qu'il est constant au procès que les terrains dont Mme de Condé et joints réclament la propriété comme provenant d'alluvions sont le résultat de travaux exécutés par l'État ; que les décrets des 3 août 1853 et 15 juillet 1854 et la loi du 16 septembre 1807 doivent faire la loi des parties ; que la loi du 16 septembre 1807 a posé les règles et les formalités à suivre quant à la délivrance par l'État des terrains résultant des travaux ; qu'il n'y a pas lieu, dès lors, de faire application des dispositions de l'article 556 du Code Napoléon, relatif à l'alluvion naturelle, etc. »

Sur l'appel, la Cour impériale de Rouen a rendu, le 11 avril 1865, l'arrêt infirmatif suivant :

1. Considérant que le procès à juger est né des prétentions respectives des héritiers Condé et du domaine de l'État à la jouissance du terrain dont s'est accrue la rive gauche de la Seine, dans la commune de Marais-Vernier, à la suite des travaux d'endiguement opérés entre Quillebœuf et La Roque ;

2. Considérant, en effet, d'une part, que l'État entend rester maître exclusif des fruits jusqu'au moment où les travaux étant terminés, il jugera opportun de faire aux propriétaires de l'ancienne rive délivrance de l'entier terrain conquis sur le fleuve; d'autre part, que les héritiers de Condé s'attribuent au contraire un droit absolu sur les fruits au fur et à mesure que le terrain se forme, la délivrance ayant d'après eux pour objet, quant à ce, de les mettre en possession de la chose dont jusque-là ils n'auront eu que la jouissance ;

3. Considérant qu'un tel débat implique forcément une question de propriété ; que cette question a d'ailleurs été posée en termes exprès dans les conclusions des parties ; qu'en principe sa solution est exclusivement du ressort de l'autorité judiciaire, et que, pour la résoudre, il suffit de savoir si le terrain en litige constitue

une alluvion dans le sens attaché à ce mot par la loi et avec les conséquences qui en découlent ;

4. Considérant que l'article 556 du Code Napoléon nomme alluvion et alloue aux propriétaires riverains tout atterrissement ou accroissement qui advient d'une façon successive et imperceptible à la rive d'un fleuve, même navigable, sans distinguer le cas où l'alluvion se produira indépendamment d'un acte quelconque de l'industrie humaine, du cas où elle résulte du concours de faits purement naturels et de travaux d'art accomplis par les soins et aux frais, soit des particuliers, soit de l'État lui-même ;

5. Considérant que dans l'espèce l'endiguement de la Seine a sans nul doute préparé et facilité les atterrissements qui sont venus et viennent encore accroître les propriétés riveraines, mais que cet atterrissement n'a pas été soudain, qu'il s'est opéré et qu'il s'opère peu à peu par progrès insensibles, et qu'en réalité sa formation est l'œuvre directe d'un fait naturel, c'est-à-dire du jeu alternatif des marées, favorisé par le fait artificiel de la construction des digues ;

6. Considérant, dès lors, que le produit de ces deux causes, l'une essentiellement déterminante, l'autre simplement occasionnelle, constitue une alluvion proprement dite, appartenant par droit d'accession, sans nécessité de concession d'aucune sorte, aux propriétaires de la rive, et que, si quelques doutes pouvaient s'élever à cet égard en thèse générale, ils disparaîtraient en présence des actes des représentants de l'État dans la cause ;

7. Considérant, en effet, qu'à la date du 6 décembre 1853, le préfet de l'Eure proposait d'appliquer l'article 30 de la loi du 16 septembre 1807 aux propriétés voisines des travaux effectués ou à effectuer pour l'endiguement dont il s'agit au procès, et de fixer à la moitié de la plus-value qu'acquerraient ces propriétés le montant de l'indemnité que les propriétaires auraient à payer à l'État ;

8. Considérant que, par arrêté du 23 février 1854, afin de préparer l'application de l'article de la loi susdit, le même agent de l'État déterminait les limites de la rive gauche du lit du fleuve, de telle sorte qu'il fût possible d'expertiser la valeur de chacune des propriétés riveraines au moment où commencèrent les travaux, et de fixer ensuite la plus-value qu'elles auraient acquise lorsque ces travaux seraient achevés ;

9. Considérant qu'un décret du 15 juillet 1854, vu les avantages que les propriétaires riverains retireraient desdits travaux, vu également les propositions de l'arrêté précité du préfet de l'Eure,

déclara souverainement les dispositions de la loi de 1807 applicables au profit de l'État aux propriétés privées qui, par suite de l'amélioration et de l'endiguement de la Seine, acquerraient un surplus de valeur;

10. Considérant que le sens et la portée de ces actes n'ont rien de douteux, qu'il n'est pas besoin d'en rechercher l'esprit ni d'en commenter le texte; que pour en tirer un élément de solution, il suffit de les prendre à la lettre, et qu'il n'y a, par conséquent, pas lieu pour la Cour de surseoir à statuer jusqu'à ce qu'ils aient été interprétés par l'autorité administrative;

11. Considérant qu'en effet ces actes, soit par leurs dispositions propres, soit par leur référence à celle de la loi de 1807, reconnaissent, sans obscurité ni équivoque, que les terrains formés entre l'ancienne rive délimitée de la Seine et la digue à établir pour le perfectionnement de la navigation, appartiendront par droit d'accession aux propriétaires riverains, à la seule charge et condition de payer, à titre d'indemnité, la moitié des bénéfices provenant de l'accroissement alluvionnaire;

12. Considérant qu'il y a là, non pas une concession en expectative, mais une reconnaissance actuelle de propriété d'où se déduit nécessairement le droit à la jouissance de tous les fruits, la Cour ne commettra aucun excès de pouvoir; qu'elle ne juge par là rien qui touche à l'exécution des travaux; que l'État reste maître de leur opportunité, de leur conduite et de leur durée; que l'autorité administrative garde le pouvoir de délivrer des terrains quand elle l'estimera convenable; que ni la détention ni l'exploitation de ces terrains ne lui sont retirées, et que l'autorité judiciaire se borne à constater l'existence des fruits, par le fait non contesté de leur récolte, et à attribuer le produit de leur vente au vrai propriétaire;

13. Considérant que ce qui vient d'être dit justifie suffisamment le dispositif qui va suivre, et dispense de s'arrêter à aucun des moyens plaidés ou conclus par le préfet de l'Eure et le directeur des domaines;

Par ces motifs, la Cour, faisant droit à l'appellation et mettant à néant le jugement attaqué, dit que le tribunal de Pont-Audemer était compétemment saisi, tant de la question de propriété que de celle de jouissance des fruits produits par les alluvions, objet du procès; — Se déclare elle-même compétente pour en connaître; — Juge qu'il n'y a lieu à interprétation préalable par l'autorité administrative ni de l'arrêté du 23 février 1854 ni du décret du 15 juillet de la même année; — Déboute les intimés, au nom

qu'ils procèdent, de tous leurs moyens, exceptions ou chefs de demandes; — Déclare les appelants propriétaires, par droit d'accession, des alluvions formées ou qui pourront se former au droit de leur propriété, dans la commune du Marais-Vernier, le long de la Seine; — Arrête que les ventes faites par l'État, des herbes excrues sur lesdites alluvions, n'ont pu avoir lieu qu'au profit des appelants, et ordonne que restitution leur sera faite du prix de ces ventes sur le compte qu'ils présenteront en la forme ordinaire si mieux n'aime l'État que ledit prix soit imputé, jusqu'à due concurrence, sur le montant de l'indemnité de plus-value due par les appelants au moment où cette indemnité deviendra exigible.

Pourvoi du préfet de l'Eure au nom de l'État.—Selon le demandeur, l'arrêt attaqué a d'abord violé ou faussement appliqué les articles 556 et 560 du Code Napoléon et les articles 30 et 41 de la loi du 16 septembre 1807. En principe, l'alluvion n'appartient aux propriétaires riverains de rivières navigables qu'autant que, d'une part, elle a été insensiblement et naturellement formée, et que, d'autre part, elle est constituée par la retraite définitive des eaux. Or, ni l'une ni l'autre de ces conditions ne se rencontrait dans l'espèce, puisque la Cour de Rouen constatait elle-même que les travaux d'endiguement avaient concouru à former les atterrissements dont il s'agissait, et qu'elle n'a ni constaté ni pu constater qu'ils fussent parvenus à l'état de maturité nécessaire. L'arrêt attaqué a d'ailleurs porté atteinte au droit que l'État, par ses décrets des 15 janvier 1853 et 15 juillet 1854, s'était réservé de concéder, moyennant certaines conditions, les atterrissements à provenir de ses travaux. Le demandeur ajoutait subsidiairement que la Cour de Rouen, en s'appuyant sur ces décrets et sur les autres actes administratifs qui s'y rattachaient, avait excédé ses pouvoirs et empiété sur ceux de l'autorité administrative, seule compétente pour interpréter les actes de cette nature.

La Cour (de cassation); sur le second moyen :

Vu les articles 41 et 30 de la loi du 16 septembre 1807 et l'article 556 du Code Napoléon;—Attendu que l'article 41 de la loi du 16 septembre 1807 donne au Gouvernement le droit de concéder, aux conditions qu'il a réglées, les accrues, atterrissements et alluvions des fleuves et rivières, quant à ceux de ces objets qui forment propriété publique ou domaniale;

2. Attendu que l'endiguement de la basse Seine entre Villequier, Quillebœuf et Tancarville a été ordonné par la loi du 31 mai 1846 et par un décret du 15 janvier 1852;

3. Attendu que, par trois autres décrets impériaux des 15 jan-

vier et 3 août 1853 et du 15 juillet 1854, les dispositions de l'article 30 de la loi du 16 septembre 1807 ont été déclarées applicables, au profit de l'État, aux propriétés privées de l'une et de l'autre rive qui acquerront une plus-value par suite de l'exécution des travaux d'amélioration de la navigation de la basse Seine, et que ces trois décrets ont fixé l'indemnité à supporter par ces propriétés à la moitié des avantages qui en seraient résultés pour elles ;

4. Attendu qu'il n'est pas constaté par les juges du fait, et qu'il n'est pas même allégué dans les conclusions qui ont été prises devant eux par les défendeurs, qu'avant le commencement des travaux il existât dans la partie du fleuve contiguë au Marais-Vernier, et adhérant à ce domaine, aucun atterrissement ayant caractère d'alluvion ; que, d'autre part, il est reconnu par l'arrêt attaqué que les atterrissements revendiqués par les défendeurs ont été préparés par les travaux d'endiguement ; — D'où la conséquence qu'à l'époque où a commencé l'entreprise et où, en conformité de la loi de 1807, il a été procédé contradictoirement avec les représentants légaux des riverains à la délimitation du lit du fleuve, la partie où se sont formés les atterrissements litigieux n'avaient pas cessé d'être la propriété exclusive de l'État, qui a pu, en vertu de l'article 41 de la même loi, en disposer comme il l'a fait, par les trois décrets susvisés de 1853 et de 1854 ;

5. Attendu, à la vérité, que ces décrets contiennent la promesse éventuelle de l'abandon au profit des riverains, moyennant une indemnité de plus-value, de tout ou partie des avantages, et par conséquent des atterrissements que produirait l'entreprise ;

6. Mais attendu que jusqu'à la réalisation de cette promesse au moyen de l'attribution à chacun des fonds riverains de sa part de ses avantages, attribution que les articles 16, 17 et 18 de la loi de 1807 n'autorisent qu'après l'achèvement des travaux et une seconde expertise destinée à déterminer l'importance de la plus-value obtenue par ces fonds, leurs propriétaires n'ont aucun droit à prétendre sur les atterrissements dont il s'agit, non plus que sur leurs produits ; — D'où il suit qu'en les déclarant propriétaires desdits atterrissements, par droit d'accession et par application de l'article 556 du Code Napoléon, bien qu'il soit constant qu'à la date de l'introduction de l'action, l'entreprise n'était pas parvenue à son terme, et qu'il n'avait été procédé à aucune répartition, entre les riverains, des terrains conquis sur le fleuve, et en condamnant le domaine à leur restituer le prix des ventes faites par son agent des produits de ces terrains, l'arrêt attaqué a violé les

articles 41 et 30 de la loi du 16 septembre 1807 et faussement appliqué l'article 556 du Code Napoléon ;

Par ces motifs, casse.

N° 7.

Arrêt de la Cour de Paris du 6 août 1870. — (Héritiers de Condé.)

La Cour,

Sur la compétence :

1. Considérant que les demandeurs réclament l'attribution à leur faire de fruits d'alluvions qui leur seraient acquises, conformément aux principes du droit civil ;

2. Que c'est là une question de propriété qui appartient à la compétence des tribunaux civils; — Qu'il n'y a pas lieu dans la cause d'interpréter des actes administratifs, les divers actes produits au nom de l'État étant exempts d'ambiguïté, et que sous ce rapport aucun sursis ne serait non plus à prononcer ;

3. Considérant que la matière étant disposée à recevoir une solution définitive, c'est pour la Cour, en vertu de l'article 473 du Code de procédure civile, le cas d'évoquer le fond ;

Au fond :

4. Considérant que l'État a entrepris pour l'amélioration de la navigation de la basse Seine, entre Villequier, Quillebeuf et Tancarville, des travaux publics auxquels une somme d'environ 5 millions a été affectée par la loi du 31 mai 1846 et par les décrets du 5 janvier 1852 et du 3 août 1853; — Que ces travaux consistant dans la construction de deux digues longitudinales parallèles, devaient resserrer le cours des eaux, et avoir prochainement pour résultat de mettre à découvert une partie considérable du lit de la rivière, exhaussée par des amoncellements de sables ou de dépôts vaseux, en adhérence à l'une et l'autre rives;

5. Considérant que dans la prévision du profit que les propriétés riveraines allaient retirer, si ces terrains nouveaux leur étaient attribués, l'État a entendu leur appliquer les articles 30 et 31 de la loi du 16 septembre 1807, relatifs à la plus-value procurée aux propriétés privées par l'exécution de travaux publics ; — Qu'en conformité de ces vues, des décrets des 15 janvier 1853, 15 juillet et 8 novembre 1854 ont fixé à la moitié du bénéfice acquis l'indemnité de plus-value qui serait due par les propriétaires riverains ; — Que, d'autre part, un arrêté de délimitation pris par le

préfet de l'Eure, sous la date du 23 février 1854, avant le commencement des travaux, a réglé, contradictoirement avec les riverains, la largeur du lit de la rivière formant dès lors dépendance du domaine public;

6. Considérant que dans ces circonstances la question est de savoir si, comme le prétendent les appelants, 1.800 hectares de terrains nouveaux qui seraient formés sur la rive gauche de la Seine depuis les travaux publics entrepris, doivent être considérés comme ayant accru les propriétés riveraines à titre d'alluvion, conformément à l'article 556 du Code Napoléon, en sorte que l'État serait tenu envers les riverains de leur faire compte du produit de ces terrains perçu par lui au moyen de plusieurs ventes d'herbes récoltées;

7. Considérant que les terrains dont il s'agit occupent, en deçà de la ligne délimitative fixée par l'arrêté préfectoral du 23 février 1854, une partie du lit de la rivière appartenant au domaine public;

Que ces terrains ne pourraient avoir perdu leur caractère de domanialité et avoir pris celui d'une alluvion que si la rivière avait cessé d'y étendre son cours et d'y tracer son lit et s'ils s'étaient joints par une adhérence définitive à la rive;

Que telles ne sont point les circonstances de la cause;

Que la rivière submerge les deux digues parallèles construites par l'État et continue d'avoir dans son lit, quoique en partie ensablé et tendant à des formations alluvionnaires, les habitudes de son cours;

Que les agglomérations de sables, de vase adjacentes soit à la digue, soit à la rive ne se sont pas encore consolidées à l'état de terrain définitivement émergé et susceptible de s'unir et de s'incorporer à la propriété riveraine;

Qu'il ne saurait donc y avoir lieu, quant à présent, au droit d'accession résultant de l'alluvion prévu et réglé par les articles 551 et 556 du Code Napoléon;

Qu'il suit de là que les végétations récoltées dans la partie du lit de la rivière alternativement baigné ou délaissé par les eaux ont été un produit domanial que l'administration a légitimement perçu et est en droit de retenir;

Que si l'État, une fois l'alluvion accomplie, en quelque mesure que ce soit, par la liaison définitive des atterrissements à la rive, devra laisser les riverains en prendre possession, sauf à exercer son droit de réclamer d'eux une plus-value dans les termes de la loi du 16 septembre 1807, ce moment ne pourra arriver que quand,

après l'expérience plus prolongée des travaux publics en exécution, le résultat final de l'établissement des digues pourra être apprécié quant à la modification réelle du lit de la rivière ;

Par ces motifs :

Met à néant le jugement dont est appel ;

Déclare que le tribunal était compétent à connaître de la demande ;

Évoquant et faisant ce que les premiers juges auraient dû faire :

Déboute les héritiers de Condé, demandeurs, des fins et conclusions de leur demande ; — Ordonne la restitution de l'amende consignée sur l'appel ; — Condamne les héritiers de Condé aux dépens de première instance et à ceux faits devant les Cours de Rouen et de Paris, desquels dépens distraction est prononcée au profit de Bellencourt, avoué, en ce qui le concerne, lequel l'a requise en affirmant les avoir avancés.

N° 8.

Remarques sur la délimitation des îles (*).

La délimitation des îles, dans les cours d'eau du domaine public, se fait d'après les mêmes principes et suivant les mêmes règles que celle des rives continentales ; c'est à cela que se réduit, en somme, tout ce qu'il y a d'utile et de substantiel à dire sur cet objet.

Tant que les eaux, en recouvrant habituellement des atterrissements qui se sont agglomérés en forme d'île ou d'îlot dans le lit d'un cours d'eau, en rendent la culture ou l'exploitation impraticable et, par suite, les rendent impropres à la possession privée, ils continuent à faire partie du lit de la rivière ou du domaine public fluvial. Le moment de leur maturité est celui où leur exploitation, par la coupe des herbes et des plantations et, *à fortiori*, par toute autre culture exigeant encore une plus ferme consistance, les rend susceptibles d'être possédés privativement, et c'est à ce moment qu'en vertu de l'article 560 du Code civil, ils passent

(*) L'annexe n° 8, par la nature de son objet, appartient moins à la présente note qu'à celle que nous avons insérée, sur la délimitation des cours d'eau, dans les *Annales des ponts et chaussées*, octobre 1874, où elle est d'ailleurs annoncée, page 265.

du domaine public dans le domaine de l'État. Une fois passés dans le domaine de l'État, ils peuvent et, dans l'intérêt général, ils doivent même être aliénés en observant, d'ailleurs, les règles imposées aux aliénations domaniales, et ils suivent alors le sort des propriétés privées tel qu'il est réglé par le droit commun.

L'opération de la délimitation d'une île peut être jugée nécessaire, soit qu'elle appartienne déjà à un particulier, soit qu'elle se trouve encore dans le domaine de l'État, à une époque plus ou moins voisine de celle où elle passe du domaine public dans le domaine de l'État. Dans les deux cas, les principes et les règles à suivre sont ceux énoncés substantiellement plus haut.

L'une des idées erronées qui ont régné avec le plus de persistance en matière de délimitation des îles, est celle qui consiste à croire qu'une île n'est émergée définitivement que quand elle dépasse le niveau des eaux de plein bord, sur l'une ou l'autre rive continentale, et de se servir de ce niveau même pour délimiter l'île. Un tel procédé est inadmissible, et il est à peine besoin de faire remarquer les contradictions dans lesquelles on se trouverait jeté dans le cas où les deux rives continentales ont des hauteurs très-différentes.

Sans entrer dans les détails de l'application de la règle fondamentale posée ci-dessus, détails qui sont le plus souvent d'une appréciation délicate, il ne faut pas se le dissimuler, nous nous bornerons à rapporter ici, pour fixer nettement les idées, deux avis assez récents du conseil général des ponts et chaussées, l'un du 25 janvier 1872, à l'occasion de la délimitation des îles de Murs, dans le lit du Rhône, et l'autre du 26 février 1874, au sujet de l'affaire Archambaud et consorts, délimitation de la Loire en aval du pont suspendu de Langeais.

Dans la première espèce, il s'agit de deux îles formées postérieurement à 1835 (car le cadastre de cette époque ne les indique pas) près de la rive droite du Rhône, le long de la commune de *Murs* (département de l'Ain), la première ayant 640 mètres de longueur et 80 mètres de largeur moyenne, et son point le plus élevé à $2^m,27$ au-dessus de l'étiage, la plus petite ayant 140 mètres de longueur et 40 mètres de largeur, et son point le plus élevé à $1^m,94$ au-dessus de l'étiage. La plaine continentale, sur la rive gauche, se trouve à $2^m,43$ au-dessus de l'étiage, et, sur la rive droite, beaucoup plus haut, à $4^m,50$ au-dessus de l'étiage.

Les ingénieurs avaient pensé, dans cette affaire, que la délimitation des îles doit être faite en prenant pour limite des eaux non débordées celle qui correspond aux rives continentales, et sou-

tenu, en conséquence, que la délimitation des îles serait sans objet et pourrait même avoir des conséquences préjudiciables pour le trésor, en ce sens que si l'autorité judiciaire venait à déclarer les riverains propriétaires des îles, conformément à leurs prétentions, l'État pourrait être condamné à leur payer une indemnité. L'avis du conseil général des ponts et chaussées, approuvé par le ministre, le 12 février 1872, est formulé comme il suit :

« Le conseil fait observer que, si MM. les ingénieurs soutiennent « avec raison qu'il convient, généralement, de ne procéder aux « actes de délimitation du domaine public fluvial qu'autant que « ces délimitations sont motivées par les besoins de la navigation « et nullement par un simple intérêt de fiscalité, leur argumenta- « tion est moins conforme aux vrais principes de la matière, « quand ils présentent la délimitation des îles de Murs comme « devant se faire, en prenant pour limite supérieure des pleines « eaux non débordées, celle qui correspond à l'une des rives con- « tinentales voisines de ces atterrissements ;

« Que s'il en était ainsi, on trouverait bien peu d'îles, même « parmi celles dont le caractère de maturité est le moins contes- « table, qui ne dussent être considérées, contrairement à toute « raison, comme faisant encore partie du lit du fleuve ;

« Que la véritable doctrine adoptée dans ce cas consiste à « traiter les îles comme les rives continentales elles-mêmes, en « délimitant les premières indépendamment des secondes, c'est- « à-dire d'après leur propre situation, par rapport aux eaux qui, « avant de les couvrir entièrement, viennent atteindre les limites « inférieures des plateaux boisés ou suffisamment mûrs pour « supporter un commencement d'exploitation ;—Question délicate, « sans doute, et qui doit être résolue, en chaque cas particulier, « d'après une étude très-attentive (*). »

« Le conseil ajoute qu'au surplus, la question qui précède est « ici purement accessoire, et que ce qui importe seulement, dans « l'espèce, c'est de savoir si la conservation des îles de Murs dans « le domaine public est, ou n'est pas nécessaire, dans l'intérêt gé- « néral du régime du fleuve et de la navigation ;

« Que le rapport de MM. les ingénieurs ne laissant aucun

(*) Cette étude généralement difficile, portant sur la nature et sur le degré de consistance des atterrissements, non moins que sur leur relief au-dessus des eaux, et sur les plantations qu'ils produisent, est quelquefois facilitée, dans une utile et large mesure, quand on peut faire des assimilations du sol litigieux avec celui d'îles du voisinage qui sont reconnues, sans conteste, être des propriétés privées.

« doute à cet égard, dans le sens de la négative, on ne voit pl
« de motifs sérieux pour ne faire à l'administration des domain
« qu'une remise *provisoire*, non acceptée par celle-ci ;

« Le conseil est, en conséquence, d'avis qu'il y a lieu d'invite
« MM. les ingénieurs à remettre les îles de Mars aux do-
« maines, *à titre définitif.* »

Dans la deuxième espèce (d'ailleurs fort compliquée à raison des vicissitudes que le procès avait éprouvées successivement devant les juridictions administratives et judiciaires), il s'agissait de la délimitation d'atterrissements formés dans la Loire, en aval du pont suspendu de Langeais, et adhérant, les uns à la rive, d'autres à des îles antérieurement et assez irrégulièrement concédées. Sans qu'il soit besoin d'entrer dans tous les détails de l'affaire, nous n'avons, ici, en vue de notre objet, qu'une seule circonstance à mettre en relief, c'est la méthode que MM. les ingénieurs entendaient appliquer pour délimiter, d'un coup et par une simple opération géométrique, tout cet ensemble d'atterrissements. A cet effet, ils avaient expliqué que la hauteur des rives du fleuve ne peut pas être donnée par les chantiers et îles situés entre les levées de la Loire, attendu que ces terrains se trouvent soumis à trop de causes soit de dégradation, soit de colmatage pour présenter quelque chose de fixe et de régulier, et ils en avaient conclu qu'il faut aller chercher la hauteur de ces rives derrière les levées ou digues ; en conséquence, ils avaient levé des profils s'étendant à 100 mètres sur les terrains depuis longtemps défendus par les levées ; ils avaient reconnu ainsi que ces terrains sont bien *en moyenne* à la cote de 3m,10 et proposé le niveau correspondant à cette cote, comme celui des eaux prêtes à déborder et déterminant géométriquement les limites du domaine public.

L'avis adopté par le conseil, dans cette affaire, est celui qu'a développé l'un de ses membres, en ces termes :

« Le projet de délimitation produit par MM. les ingénieurs
« est en opposition complète avec les principes qui régissent la
« matière. Leur point de départ, notamment, est tout à fait fautif.
« En prenant pour hauteur des eaux de pleine rive prêtes à dé-
« border, le niveau du terrain naturel en dehors des digues, les
« auteurs du projet ont perdu de vue que les bords de ce terrain
« ont cessé, depuis longtemps, d'être la rive du fleuve ; qu'ils ont
« été soustraits à l'action des colmatages sous l'influence desquels
« les alluvions voisines, demeurées en contact avec les eaux, s'é-
« levaient insensiblement et que, par conséquent, ces terrains ont

« perdu toute aptitude à servir de base à la détermination des li-
« mites du débordement sur ces mêmes alluvions.

« Toute délimitation de *plenissimum flumen*, dit l'opinant, con-
« siste dans la reconnaissance d'une rive, au droit de laquelle les
« eaux sont sur le point de déborder. S'il s'agit du continent, ce
« sera la rive continentale ; s'il est question d'îles ou d'alluvions
« isolées, ce sera la rive insulaire. *Mais jamais la rive continentale*
« *ne peut servir à déterminer la limite du débordement sur les*
« *îles*, ou *vice versa*, surtout quand il est manifeste que les îles
« et le continent sont placés, par rapport au fleuve, sous des ré-
« gimes divers. »

Paris, le 19 septembre 1875.

N° 15

BARRAGES MOBILES A FORTE CHUTE.

MÉMOIRE

SUR

UN NOUVEAU SYSTÈME DE BARRAGE MOBILE

FERMÉ PAR DES VANNES ET DES FERMETTES

Par M. BOULÉ, ingénieur des ponts et chaussées.

EXPOSÉ.

Quelques-uns des ingénieurs qui ont visité le barrage de Port-à-l'Anglais, depuis la construction de la passe navigable, dont il a été rendu compte dans une notice publiée par les *Annales*, en août 1873, ont fait diverses objections au système de fermeture adopté pour cette passe, ou exprimé des doutes sur l'opinion que j'ai émise dans la notice, au sujet de l'utilité et de la possibilité d'établir dans le même système, sur d'autres rivières, des barrages de plus de 4 mètres de hauteur et de plus de 3 mètres de chute.

Tout en reconnaissant que la solution adoptée à Port-à-l'Anglais était la seule que l'expérience eût consacrée jusqu'alors pour une retenue aussi forte, ils ont émis l'avis : qu'il serait utile de rechercher un mode de fermeture plus simple et plus économique, surtout si l'on avait à établir une retenue encore plus haute qu'à Port-à-l'Anglais.

Il m'a paru utile et intéressant de discuter les observations qui m'ont été faites à ce sujet et d'examiner à nou-

veau les avantages et les inconvénients des différents types de barrages mobiles actuellement en usage, et cette discussion m'a fait songer à une nouvelle solution de la question, qui m'a paru devoir être la plus simple et la plus économique de toutes.

J'ai été ainsi amené à proposer un nouveau type de barrage qui permettra, je crois, d'établir des retenues de très-grande hauteur, sans exagération de dépense, et présentera en même temps de sérieux avantages, tout en évitant de graves inconvénients que l'on reproche aux autres systèmes.

Cette discussion et cette proposition ont fait l'objet d'un mémoire que j'ai adressé le 1er août 1874 à la commission des *Annales*; mais la commission ne crut pas devoir en autoriser la publication, « par cette considération traditionnelle, que les *Annales* n'admettent pas les inventeurs à exposer dans le Recueil des idées nouvelles, dont l'expérimentation n'a pas encore été faite (*) ».

L'expérimentation du nouveau système de barrage a été ordonnée par une décision ministérielle du 24 novembre 1874, portant approbation d'un projet de vannage à établir contre les fermettes du barrage de Port-à-l'Anglais qui permettrait, dit cette décision, « de faire des essais sur un nouveau type de barrage pouvant conduire à la solution de la question toujours pendante des barrages à grande chute ».

Ce projet a été exécuté et la retenue que supportent les hausses du système Chanoine dans le pertuis de Port-à-l'Anglais a été reportée momentanément sur les fermettes de la passerelle de service, par l'intermédiaire de vannes du nouveau modèle.

L'expérience de ces vannes a été faite plusieurs fois

(*) Lettre du 17 octobre 1874 de M. le secrétaire de la commission.

en présence d'un certain nombre d'inspecteurs généraux et d'ingénieurs des ponts et chaussées, et elle a paru assez concluante pour que ce mode de fermeture fût adopté, par décision ministérielle du 14 juillet dernier, pour le barrage de Port-Villez dont la construction, entreprise depuis plusieurs années sur la basse Seine, doit être continuée dans le nouveau système.

D'un autre côté, j'ai été invité par une dépêche ministérielle du 5 juin 1875, « à soumettre de nouveau à la com-« mission des *Annales* mon mémoire sur les barrages mo-« biles, après l'avoir complété par le compte rendu des « expériences auxquelles il a donné lieu ».

Le présent mémoire répond à cette invitation; il se compose de deux parties : la première comprend la description générale du nouveau barrage, justifie les dispositions proposées, et en fait ressortir les avantages ; la deuxième rend compte des dispositions adoptées et des expériences faites à Port-à-l'Anglais.

CHAPITRE Ier.

DESCRIPTION GÉNÉRALE DU BARRAGE A FERMETTES ET VANNES ET JUSTIFICATION DES DISPOSITIONS PROPOSÉES.

---

§ 1. — Substitution de vannes ordinaires aux aiguilles des barrages de M. Poirée.

Le barrage à fermettes et vannes ordinaires peut être décrit en quelques mots : il se compose des engins les plus simples et les plus anciennement connus : les fermettes de M. Poirée et les vannes ordinaires des usines hydrauliques. Les vannes glissent verticalement entre deux fermettes successives, comme celles des moulins se meuvent entre deux culées en maçonnerie et quelquefois même

entre deux poteaux en bois ; on les manœuvre de la même manière, avec un cric, du haut de la passerelle portée par les fermettes.

Parmi les pièces qui entrent dans la construction des différents barrages mobiles, ce sont incontestablement les fermettes de M. Poirée qui présentent le plus d'avantages et le moins d'inconvénients. En même temps qu'elles servent de support au vannage, elles forment un pont de service toujours très-utile, lors même qu'ils n'est pas indispensable, quelle que soit la forme du barrage, et la présence de ce pont permet d'élever tous les mécanismes au-dessus de la retenue et de ne placer sous l'eau aucune pièce fragile qui puisse exiger des réparations.

Les aiguilles des barrages de M. Poirée ont au contraire des inconvénients nombreux et bien connus : ce sont elles seules qui ont limité jusqu'à présent la hauteur des barrages à fermettes ; leur emploi nécessite la construction d'un long et coûteux déversoir fixe à côté du barrage mobile; enfin le rideau d'aiguilles n'est pas suffisamment étanche. C'est pour éviter ces inconvénients qu'on a cherché à fermer les barrages par des vannes tournantes de différentes formes ; mais celles-ci ne sont pas non plus exemptes de défauts, et il est assez remarquable qu'on a toujours eu recours aux fermettes pour y remédier.

De même que M. Chanoine a établi en 1850 à Courbeton une passerelle portée par des fermettes pour manœuvrer les hausses du système de M. Thénard, on a depuis établi des passerelles semblables pour manœuvrer les hausses de M. Chanoine, tant pour les déversoirs que pour les passes navigables, lorsque celles-ci ont une grande hauteur.

Mais on est conduit ainsi à un système très-dispendieux et assez compliqué, dans lequel les fermettes et les supports des hausses paraissent faire double emploi, car il faut donner aux fermettes la même dimension et la même

solidité que si elles devaient supporter la retenue à ell seules.

Les fermettes ne paraissent même pas inutiles aux bar rages de M. Desfontaines malgré leur faible hauteur, trè peu supérieure à un mètre, comme le montre la note qu M. Malézieux a publiée le 29 décembre 1874 (*Annal* mai 1875), et dans laquelle il explique de nouveau le ba tardeau à fermettes mobiles du barrage de Joinville, qu'il avait déjà décrit sommairement dans son mémoire sur ce barrage (*Annales* 1868, 2e semestre).

Ces considérations m'ont fait penser qu'on trouverait solution des barrages mobiles, solution toujours penda suivant la décision ministérielle du 24 novembre 1874 c dessus rappelée, en appuyant directement sur les fermett de M. Poirée des vannes analogues aux hausses d MM. Thénard, Chanoine et autres, ou plus simplement de vannes glissantes ordinaires et en supprimant les suppor spéciaux aux hausses, leurs axes de rotation, leurs barr à talons et autres accessoires.

Mais les vannes ordinaires des moulins restent habitu lement en place contre leurs appuis quand elles sont levé au-dessus de l'eau, et chacune d'elles porte une crémai lère et exige un cric de manœuvre spécial.

Dans un barrage à fermettes, les vannes devront êt transportées au magasin à mesure qu'on les lèvera, comm on le fait actuellement pour les aiguilles ; on devra do employer un seul appareil de levage pour toutes les vanne au lieu d'en avoir un pour chacune d'elles, et la surface d chacune devra être assez petite pour qu'il soit facile de le transporter sur le pont de service jusqu'au magasin étab sur la rive.

Il sera évidemment facile de combiner un treuil ou une grue destinée à lever ou descendre successivement toutes les vannes et qui circulera sur la passerelle des fermettes, comme le fait actuellement le treuil en usage pour manœu-

rer les hausses des déversoirs de la haute Seine et celles des passes navigables de la Marne, de la Saône et du pertuis de Port-à-l'Anglais. On rattachera successivement chaque vanne à cet appareil de levage, soit avec une chaîne fixée continuellement à chacune d'elles, soit par l'intermédiaire d'une gaffe de manœuvre, que l'on accrochera du haut de la passerelle à une poignée fixée à la vanne, comme on saisit la poignée des hausses de M. Chanoine du haut du bateau de manœuvre, lorsqu'on veut les relever.

Dans tous les barrages où l'on emploie des fermettes, soit pour supporter la retenue par l'intermédiaire d'aiguilles, soit seulement pour constituer un pont de service, l'espacement des fermettes successives est assez faible et ne s'éloigne jamais beaucoup de 1 mètre. En effet, la charge que supportent les fermettes est proportionnelle à leur écartement, et si cette distance était trop grande, il faudrait leur donner de trop grandes dimensions transversales; elles deviendraient trop lourdes et il en serait de même des barres à griffes, qui les réunissent et forment les rails sur lesquels circule le treuil de manœuvre; il convient même généralement de rapprocher d'autant plus les fermettes que leur hauteur est plus considérable.

La largeur des vannes que l'on aura à placer entre deux fermettes successives ne sera donc pas très-grande; mais si ces vannes avaient la même hauteur que les fermettes, cette hauteur serait exagérée dès que celle de la retenue serait un peu forte et, lorsqu'on en lèverait une, elle monterait à une hauteur considérable au-dessus de la passerelle et l'on serait alors embarrassé pour la guider et pour la transporter sur le pont de service.

On superposera donc dans l'intervalle compris entre deux fermettes plusieurs vannes, dont la hauteur sera à peu près égale ou un peu supérieure à la largeur, et c'est cette disposition qui est la clef du système et qui rendra toutes les manœuvre faciles.

§ 2. — Manœuvres des vannes. — Facilités et avantages nombreux qu'elles présentent.

Le vannage appuyé sur les fermettes se composera ainsi de plusieurs étages horizontaux de vannes rectangulaires, comme les barrages à poutrelles sont formés par un certain nombre de poutres horizontales superposées, nous devons insister sur cette disposition, car elle est la partie essentielle du système.

Pour ouvrir le barrage on procédera comme pour des poutrelles, en enlevant d'abord toutes les vannes de l'étage supérieur, puis celles de la rangée suivante et ainsi de suite.

Au moment du levage chaque vanne sera chargée par une colonne d'eau, dont la hauteur sera celle de la lame déversant sur sa crête augmentée de la hauteur de la vanne elle-même, si celle-ci n'est pas noyée par l'aval ; dans le cas contraire la charge sera la chute totale du barrage, mais cette chute sera alors très-faible.

Lorsqu'on aura enlevé sur toute la longueur du barrage la rangée supérieure des vannes, évidemment très-peu chargées, le bief d'amont s'abaissera ou, s'il est maintenu par l'augmentation du débit de la rivière, le bief d'aval s'élèvera et dans tous les cas la chute diminuera rapidement. Le levage du deuxième rang de vannes se fera donc à très-peu près dans les mêmes conditions que pour le premier rang et il en sera de même jusqu'à l'étage inférieur reposant sur le seuil. Le levage des vannes inférieures, complétement noyées dans le bief d'aval, sera même plus facile que celui des vannes supérieures; car au moment de leur manœuvre la chute sera presque complétement effacée.

Toutes les manœuvres seront donc faciles et n'exigeront jamais d'efforts exagérés, si la longueur du barrage est assez grande pour que la lame d'eau déversant sur sa crête

ne soit pas trop forte et si la surface des vannes n'est pas trop considérable.

Lors de la fermeture du barrage on procédera dans l'ordre inverse : on descendra d'abord toutes les vannes de la rangée inférieure, alors que la chute sera encore nulle ou très-faible, puis on placera celles de l'étage suivant, pour supprimer le déversement sur les premières et ainsi de suite. La fermeture du barrage paraît donc devoir être encore plus facile que son ouverture ; car on travaillera alors sous des chutes moins fortes.

Du reste, la manœuvre d'ouverture ou de fermeture ne se fera pas en une seule fois, mais successivement et progressivement, à mesure que le débit de la rivière variera ; il n'y a donc pas à se préoccuper de la durée des manœuvres.

On augmentera ou l'on diminuera chaque jour le nombre des vannes placées contre les fermettes, de même que dans les barrages Poirée on place ou l'on enlève successivement un certain nombre d'aiguilles à des intervalles plus ou moins éloignés pour que le débouché du barrage corresponde toujours au débit de la rivière. Le niveau du bief d'amont, au lieu de subir une variation brusque lors des manœuvres, restera pour ainsi dire invariable, sauf lorsque la rivière s'élèvera naturellement au-dessus du niveau normal de la retenue, après l'enlèvement de toutes les vannes. C'est alors seulement qu'il sera nécessaire de coucher les fermettes, pour les relever lorsque la hauteur naturelle des eaux sera descendue en contre-bas du niveau habituel du bief d'amont. On pourra alors commencer à refermer le barrage immédiatement, sans jamais laisser descendre les eaux en contre-bas du niveau normal de la retenue.

Les barrages fermés par des hausses mobiles sur un axe de rotation présentent au contraire à ce point de vue un grave inconvénient, c'est qu'après une crue il faut

attendre un rabais considérable du bief pour pouvoir relever les hausses et refermer le barrage. Il sera du reste rarement nécessaire d'ouvrir complétement le barrage et d'abattre les fermettes, et cette manœuvre sera d'autant moins fréquente que la hauteur du barrage sera plus considérable.

L'ouverture complète des barrages mobiles n'a pas lieu plus de deux ou trois fois par an sur la haute Seine et sur la basse Seine et elle est quelquefois encore moins fréquente; ainsi les barrages de Paris à Montereau, fermés en mai 1873, n'ont été ouverts qu'en décembre 1874, après être restés fermés pendant plus de dix-huit mois sans interruption.

Il devient nécessaire d'ouvrir entièrement les barrages de M. Chanoine lorsque le débit du fleuve s'élève assez pour que les hausses des passes navigables basculent spontanément, et la même nécessité se présente pour les barrages de M. Poirée, lorsque le niveau d'aval menace d'atteindre le pont de service.

La hauteur des fermettes d'un barrage à vannes n'étant plus limitée, comme dans le système de M. Poirée, par la nécessité de réduire autant que possible la longueur des aiguilles, la passerelle pourra être élevée notablement plus haut que la retenue et même au-dessus des crues ordinaires.

Ce résultat est fort important et permet de ne plus se préoccuper beaucoup de la durée des manœuvres, car on n'aura plus à redouter de ne pouvoir terminer l'ouverture du barrage avant l'arrivée d'une crue et de le voir submergé sans qu'on puisse achever la manœuvre, comme cela s'est présenté deux fois à Suresnes pendant les crues du commencement de l'année 1873. Ce barrage s'est en effet trouvé submergé une première fois, du 21 janvier au 11 février 1873, avec toutes ses fermettes debout et 250 aiguilles en place, et du 27 février au 28 mars sui-

nts avec 90 aiguilles. Un fait analogue s'était produit endant la crue de 1866 au barrage d'Évry, dont les ausses de déversoir sont restées en bascule sur leurs chealets pendant toute la crue, parce qu'il n'y a pas de barres talons sur les déversoirs de la haute Seine et qu'en 1866 eurs passerelles à fermettes n'étaient pas encore conruites.

Ces deux accidents n'ont eu aucune conséquence fâheuse, mais ils auraient pu en avoir, et il est certainement rt utile d'en éviter le retour, comme on pourra le faire vec le barrage à fermettes et vannes en élevant suffisament le niveau de la passerelle.

La facilité avec laquelle on pourra faire varier dans tes proportions le débouché ouvert aux crues est aussi -importante.

La manœuvre des barrages de M. Chanoine est déjà trop pide et les ingénieurs de la haute Seine ne cessent de commander aux éclusiers de la faire très-lentement; car rsqu'on ouvre un barrage trop rapidement, on produit en al une crue torrentielle factice souvent très-dangereuse, lorsqu'on ferme trop rapidement, on affame outre mesure ief d'aval où les bateaux sont exposés à s'échouer.

Les manœuvres rapides pouvaient être utiles pour forr des éclusées avec des barrages de peu de hauteur, is elles ne peuvent être admises avec de fortes chutes, rtout lorsqu'on établit un certain nombre de barrages à suite les uns des autres, car leurs effets s'ajoutent, puis'il devient ordinairement nécessaire de les ouvrir ou de fermer tous presque simultanément. La rivière la plus anquille devient alors torrentielle au moment des mauvres d'ensemble et la navigation en souffre beaucoup, it au moment de l'ouverture, soit au moment de la fereture générale de tous les barrages.

Le barrage à vannes présentera à ce point de vue les mêmes avantages que le barrage à aiguilles : en outre, le

débit, ayant lieu par déversement sur toute la longueur d la rivière, se répartira également sur cette étendue ; le affouillements seront moins à craindre et l'on ne produi pas de remous gênants en aval des écluses, comme cela présente quelquefois sur la haute Seine, lorsque le déve soir est en partie ouvert et la passe fermée.

Enfin on pourra obtenir le même résultat que si, dan un barrage-déversoir, on pouvait abaisser successivement le seuil à mesure que le débit augmente.

On réalisera donc ainsi le barrage à seuil mobile de mandé naguère par le Conseil général des ponts et cha sées, pour éviter de placer le seuil fixe au-dessus du f naturel de la rivière, comme l'a rappelé M. Saint-Y dans un mémoire publié en novembre 1870 dans *Annales* (page 440). L'étage inférieur des vannes pou n'être enlevé que très-rarement ; on le lèverait du re légèrement pour empêcher les atterrissements en amo

Dans les chapitres VI et VII de la notice sur le barr de Port-à-l'Anglais, j'ai insisté sur l'utilité de disposer l barrages mobiles de manière à pouvoir faire varier le débouché dans toutes proportions, suivant le débit de rivière, et de façon à faire toutes les manœuvres sous plus faible chute possible. J'ai montré qu'on peut obte ces résultats, quel que soit le système de fermeture, divisant le barrage en plusieurs travées, dont les se soient établis à des niveaux différents ; mais cette soluti est dispendieuse, car elle conduit à donner au barrage u fort grande longueur.

Dans un barrage composé de plusieurs rangées de van ordinaires glissant verticalement entre des fermettes, l mêmes résultats seront obtenus d'une autre manière peu être plus simple et plus économique. Il conviendra to jours, pour réduire les dépenses, de limiter la largeur d la passe navigable profonde à la mesure strictement néce saire pour la navigation ; mais cependant ici la dépense de

emier établissement ne croîtra pas aussi vite avec la
uteur que dans les systèmes plus compliqués. D'un
tre côté, comme la passe navigable sera fermée par plu-
ieurs étages de vannes, elle pourrait à la rigueur consti-
tuer tout le barrage à elle seule et l'on y trouverait au be-
soin, les unes au-dessus des autres, les diverses passes de
uteur différente, qu'il est nécessaire de placer, à côté les
es des autres, dans un barrage fermé par des vannes ou
es aiguilles d'une hauteur égale à celle de la retenue.
la pourrait être utile pour un barrage établi dans une
rtie de rivière de peu de largeur comme dans une ville
la rivière est resserrée entre des murs de quai, par
mple si l'on avait voulu compléter à Paris le barrage
la Monnaie en fermant le bras droit, comme on y avait
gé jadis, ou si l'on veut établir un barrage près de
bouchure de la Saône à Lyon, comme il en est ques-
, pour relever les eaux dans la traversée de cette ville
sur le busc de l'écluse de l'île Barbe. Dans tous les cas,
aura à examiner, sous divers points de vue, et notam-
t sous celui des dépenses de construction, s'il convient
r de diminuer la longueur totale du barrage en aug-
nt celle de la passe la plus profonde, ou d'adopter la
tion contraire, tout en conservant la même section
coulement pour les crues.

On aura pour cela une facilité que ne présentent pas
autres systèmes, et l'on aura en même temps une autre
ution du problème, que M. Charles Poirée n'a résolu au
rage de la Monnaie qu'aux dépens de la navigation, car
batellerie ne peut franchir ce barrage. Il existera tou-
rs sur les vannes du nouveau barrage, comme sur les
cteurs de la Monnaie, une lame déversante d'une épais-
r variable suivant le débit de la rivière et la longueur
tale du barrage, mais suffisante pour maintenir dans le
ief d'amont un courant superficiel et le débarrasser de
us les détritus flottants, qui viennent s'accumuler habi-

tuellement en amont des barrages à aiguilles. Je n'ai pas besoin d'ajouter que cette lame déversante permettra, comme avec les barrages à hausses, de supprimer le déversoir fixe, qu'il est indispensable d'adjoindre aux barrages à aiguilles, pour que le bief ne s'élève pas dans certaine circonstance jusqu'au niveau du pont de service.

On sait que la suppression de ce déversoir fixe produit une économie considérable, qui seule pouvait compenser les fortes dépenses de construction des autres barrages à déversement, comme ceux de M. Chanoine et de M. Desfontaines. Le déversement, qui n'est qu'intermittent dans les barrages de M. Chanoine à cause des intervalles des hausses, sera ici continuel, comme à la Monnaie, car le vannage pourra être presque complétement étanche s'il est établi avec soin, et alors tout le débit de la rivière s'écoulera en déversoir sur la crête des vannes.

Cette propriété du barrage permettra de consacrer la presque totalité des eaux du fleuve à faire mouvoir une usine hydraulique et la valeur de la force ainsi utilisée équivaudra, si la chute est un peu forte, aux dépenses de construction du barrage, dépenses qui pourront ainsi devenir productives, indépendamment de l'amélioration de la navigation.

Malgré les pertes d'eau inévitables, il est probable que l'on pourra mesurer à chaque instant le débit de la rivière, sur le déversoir en mince paroi formé par les vannes, avec une approximation au moins égale à celle que l'on ne peut obtenir que par des opérations longues et compliquées et, par conséquent, à de rares intervalles seulement, au moyen des flotteurs de surface, du moulinet de Woltmann ou du tube Pitot-Darcy.

On pourra donc indiquer avec une grande précision aux éclusiers des barrages d'aval les manœuvres qu'ils devront faire en chaque circonstance, suivant la variation du débit du fleuve. Il n'en est pas de même avec les barrages à

aiguilles ou à hausses Chanoine, et les éclusiers sont quelquefois exposés à faire des manœuvres intempestives, qui se répercutent d'une manière fâcheuse en aval.

Enfin, les vannes devant être enlevées et mises en magasin pendant les crues, comme les aiguilles des barrages de M. Poirée, il sera facile de les tenir toujours en bon état, de les réparer, calfater, goudronner. Il n'en est pas de même dans les barrages de M. Chanoine et autres, dont les hausses sont toujours sous l'eau, que le barrage soit ouvert ou fermé; aussi l'entretien de ces hausses est-il difficile et fort onéreux.

§ 3. — Dimensions et dispositions des vannes.

La largeur des vannes sera déterminée par l'espacement des fermettes, elle ne sera jamais beaucoup supérieure à 1 mètre et elle diminuera généralement à mesure que la hauteur totale de la retenue augmentera. Quant à leur hauteur, elle dépendra à la fois de celle de la retenue à obtenir, de la largeur du pont de service sur lequel on devra les transporter, et de la solidité de ce pont qui seule limitera la force de l'appareil de levage. Le pont de service étant nécessairement d'autant plus solide que les fermettes seront plus fortes et plus rapprochées, à mesure que la retenue sera plus grande, on pourra augmenter la hauteur des vannes dans les barrages de grande hauteur pour en diminuer le nombre; on pourra notamment admettre une assez grande hauteur pour les vannes du fond reposant sur le seuil du barrage, toujours noyées dans le bief d'aval; car on ne les manœuvrera jamais que sous une chute presque annulée ou au moins très-faible.

Cependant comme la surface totale et le poids des vannes ne devront jamais être trop considérables pour qu'elles soient maniables, je pense que cette surface devra généra-

lement être comprise entre 1 et 2 mètres carrés et s'éloi-gner peu de $1^{m},50$.

Les vannes des étages supérieurs se manœuvreront ha-bituellement sous une chute un peu plus forte que celle du fond, et il conviendra peut-être de les faire un peu moins hautes, enfin il sera fort avantageux de placer à la partie supérieure un rang de vannes très-légères, que les éclusiers puissent manœuvrer à la main pour régler la re-tenue sans le secours d'aucun treuil. Si l'on donne seule-ment $0^{m},25$ ou $0^{m},30$ de hauteur aux vannes de la rangée supérieure, elles se réduiront à de simples planches très-légères, puisque étant toujours très-peu chargées elles pour-ront être très-minces; on les manœuvrera à la main aussi facilement que de courtes aiguilles, et pourtant en les enle-vant on augmentera le débit de 200 à 300 litres par mètre courant, ce qui suffira généralement pour régler le bief pendant toute la saison des basses eaux. Si la rivière était sujette à des variations de débit plus considérables ou que le débouché linéaire du barrage fût faible, on pourrait pla-cer à sa partie supérieure deux rangées superposées de vannes de cette espèce; elles ressembleraient beaucoup à des poutrelles, avec cette différence qu'au lieu de vérita-bles poutres ce ne seraient que de simples planches d'une faible longueur.

Si ces vannettes placées à la partie supérieure n'ont que $0^{m},30$ de hauteur sur $1^{m},20$ de largeur, et qu'il y ait une lame déversante de $0^{m},20$ au-dessus d'elles, la charge d'eau qu'elles supporteront sera de 126 kilog., et comme elles reposeront sur deux appuis distants de $1^{m},20$, il suffira de leur donner $0^{m},03$ d'épaisseur. Ce ne seront donc que des planches ordinaires pesant 6 à 8 kilog. et qu'un homme portera très-facilement. Pour les faire glisser verticalement le long des fermettes, en admettant un coefficient de frot-tement d'environ 50 p. 100, il faudra développer un effort de 63 kilog.; l'éclusier les lèvera donc facilement au moyen

l'un simple levier, et il les remettra en place avec le même levier, dont il se servira au besoin comme d'un pilon pour frapper des coups successifs.

Les vannes inférieures, qui seront beaucoup plus hautes et plus chargées, pourront être en fonte, en tôle, ou en bois, mais le plus simple et le plus économique sera de les faire en bois, de sorte qu'elles soient en même temps plus légères et d'un entretien plus facile. Dans ce cas elles se composeront de plusieurs madriers horizontaux superposés, assemblés à rainure et languette, ou mieux à double rainure et fausse languette en fer feuillard ; ces madriers seront en outre réunis par des traverses verticales, et reposeront tous par leurs extrémités sur deux fermettes voisines.

Si elles ont $1^m,20$ de largeur sur $1^m,30$ de hauteur, et que la chute s'élève à 3 mètres, chacune des vannes aura une surface de $1^{mq},56$, et supportera une charge de $3.000^k \times 1^m,56 = 4.680$ kilog. ; il conviendra alors de donner aux madriers l'épaisseur habituelle de $0^m,08$, et une épaisseur de $0^m,10$ suffirait si la chute s'élevait à 4 mètres. Les vannes n'auront donc pas une épaisseur supérieure aux aiguilles habituellement employées, et lorsqu'on ouvrira le barrage, le cube de bois à transporter au magasin ne sera pas plus considérable que dans les barrages de M. Poirée.

Ce transport pourra, du reste, se faire au moyen d'un petit chariot roulant sur la passerelle ; il ne présentera donc aucune difficulté et n'entraînera pas de perte de temps.

La charge des vannes sera considérablement réduite au moment de leur levage, mais cependant si pour une raison quelconque on voulait les lever sous la chute totale de 3 mètres, il ne faudrait encore développer qu'un effort de 2.340 kilog., en admettant le coefficient de frottement de 50 p. 100 : ainsi un treuil comme celui de la passerelle du

pertuis de Port-à-l'Anglais suffirait à la manœuvre, p
qu'il peut lever 3.000 kilog.

Si les fermettes portent des cornières latérales form
coulisses, les vannes glisseront dans ces rainures com
celles des moulins, et les madriers dont se compose cha
panneau seront réunis par des traverses verticales en b
ou en fer d'une forme quelconque, pourvu qu'il y ait u
barre de fer sur le bord de la vanne, pour diminuer le fr
tement sur la coulisse en fer cornière.

Mais si les fermettes portent des coulisseaux compl
et qu'elles viennent à subir une légère déformation,
vannes pourront se trouver serrées dans ces coulisses
sera donc préférable de les placer contre une simple fe
lure ouverte vers l'amont, et de réunir les madriers
chaque vanne par deux fers cornières ou à T fixés à le
extrémités latérales. L'un des angles de ces fers s'appliq
alors contre l'angle d'amont du montant de la fermet
auquel il ne sera pas nécessaire de donner une forme s
ciale. La forme même de ces traverses en fer à T augme
tera la rigidité des vannes et les empêchera de se gauch
Du reste, il n'est pas à craindre qu'elles se gauchiss
sous la pression de l'eau, elles ne pourraient que flé
par le milieu, et il sera facile de l'éviter en donnant
madriers une épaisseur suffisante. Elles ne pourront pas
gauchir davantage dans le magasin, lorsqu'elles seront h
de l'eau, si l'on a soin de les empiler convenablement
unes sur les autres en chargeant la dernière.

§ 4. — Dispositions diverses. — Vannes automobiles.

Beaucoup d'autres dispositions pourraient être adopté
pour les vannes. Ainsi l'on pourrait établir d'abord un cad
qui recevrait des bordages ; mais je ne pense pas qu'o
puisse diminuer leur poids par ce procédé, du moins
elles sont en bois, et l'on reporterait ainsi la charge de l'ea

r certains points particuliers des fermettes au lieu de la épartir sur toute leur hauteur, et cela présenterait cer-ainement quelques inconvénients.

On pourrait être tenté aussi de placer des galets entre s vannes et leurs glissières, mais si ces galets n'avaient u'un faible diamètre, au bout de peu de temps d'immer-on ils tourneraient difficilement; en outre, toute la charge posant sur les galets, ceux-ci s'imprimeraient à la longue ns le montant de la fermette sur lequel la charge serait al répartie; enfin, les galets entraîneraient, je crois, des rtes d'eau qu'il sera généralement préférable d'éviter.

Pour activer l'ouverture des barrages à aiguilles, on a ployé dans certains cas un expédient bien connu qui siste à laisser échapper à la fois toutes les aiguilles ne travée, après les avoir fixées à un cordage au moyen el on les repêche ensuite en aval : différents systèmes happements ont été adoptés, notamment sur la haute ine, sur l'Yonne et sur la Meuse.

Cet expédient pourrait à la rigueur être appliqué à des es aussi bien qu'à des aiguilles, et il suffirait pour de faire reposer l'une de leurs extrémités latérales sur poteau-valet faisant corps avec la fermette et disposé me les poteaux analogues des barrages à poutrelles. Mais il serait plus difficile de repêcher des vannes que aiguilles à l'aval du barrage, car les premières seront s lourdes et ne flotteront pas comme les secondes.

On pourrait augmenter plus simplement et aussi rapi-ment le débouché à l'arrivée d'une crue, en insérant ns les vannes des papillons analogues à ceux qui ont é ajoutés aux hausses des passes navigables de la haute ine.

Les vannes, au lieu de former des panneaux pleins, se mposeraient alors d'un cadre supportant une ventelle urnante par l'intermédiaire d'un axe horizontal ou verti-al. La facilité avec laquelle on pourra enlever les vannes

pour les porter en magasin, ou seulement pour modifie leur position dans la hauteur de la retenue, permettra d déterminer facilement par tâtonnements la meilleure dispo sition à adopter pour la ventelle et la position de son axe de rotation et d'expérimenter toute espèce de ventelle tournantes ou même automobiles.

On pourrait, par exemple, insérer dans les vannes, et principalement dans celles des étages supérieurs, des papillons à axe horizontal ou des ventelles à axe vertical, comme celles des portes des écluses de chasse, ou même des vannes Chaubard à niveau constant ou tout autre sys tème de vannes automobiles.

Cela consisterait en définitive à appuyer directem contre les fermettes de M. Poirée les hausses à basc de M. Chanoine, en supprimant leurs chevalets, arcs-bou tants, barres à talons, etc., et en faisant disparaître p conséquent la complication, qui a été reprochée au barra de Port-à-l'Anglais, où les fermettes de la passerelle pa raissent faire double emploi avec les supports spéciaux de hausses.

On réaliserait ainsi complétement la fusion des systèm Poirée et Thénard, que cherchait M. Chanoine en constr sant le barrage de Courbeton (*Annales* 1851, 2e semestre

On conserverait les avantages que présentent les fe mettes sur les supports plus compliqués des hausses et même temps le déversement de l'eau sur toute la longue du barrage et l'augmentation rapide de débouché que pe mettent ces hausses et qui font défaut aux aiguilles; enfi on éviterait les difficultés que présentent les réparatio des hausses.

En un mot on réunirait ainsi presque tous les avantag des différents autres systèmes de barrages tout en évita la plupart de leurs inconvénients.

Mais les vannes ainsi appuyées sur des fermettes de vraient toujours être d'assez faibles dimensions pour qu'on

puisse les retirer de l'eau et les porter au magasin, et il faudrait toujours en superposer plusieurs dans la hauteur de la retenue, à moins que celle-ci ne fût très-peu élevée.

Grâce à leurs faibles dimensions et à leur position au-dessus d'une passerelle de service, on pourrait toujours ouvrir ou fermer ces vannes tournantes à la main, par l'intermédiaire d'un croc de marinier; elles ne présenteraient donc pas les inconvénients bien connus des grandes vannes automobiles ou de celles qui, sans se mouvoir spontanément, doivent être manœuvrées de la rive par des mécanismes immergés sous l'eau et d'un entretien difficile.

L'expédient de ces vannes tournantes, outre qu'il permettrait d'augmenter rapidement le débouché à l'arrivée des crue, diminuerait les efforts nécessaires pendant les manœuvres, car il est évident qu'après l'ouverture des vannes tournantes la pression et le frottement de leurs culasses sur les fermettes seraient considérablement réduits, quelle que fût la chute.

Il y a mieux : on peut, par ce moyen, annuler complétement les frottements, car une ventelle de cette espèce ressemble, lorsqu'elle est ouverte, à un gouvernail de bateau qui se place d'elle-même dans la direction du courant; si on appuie sur sa culasse, la pression de l'eau agira en dessus d'elle et elle glissera le long des fermettes jusqu'à ce qu'elle rencontre la vanne inférieure ou le seuil; si, au contraire, on exerce une traction sur cette culasse avec un croc de marinier, la pression de l'eau agira en dessous de la vanne et la fera monter le long des fermettes jusqu'au niveau de la retenue. Je me suis assuré par une expérience directe qu'un seul homme ou deux au plus peuvent faire descendre ou monter ainsi le long des fermettes une vanne d'environ 1 mètre carré de surface, par leur seule force et sans le secours d'aucun treuil.

Mais cette expérience est difficile à réaliser et exige l'emploi d'une vanne assez compliquée; il faut d'abord un

cadre contenant la vanne mobile sur un axe de rotation horizontal dont la position doit être déterminée convenablement, puis il faut qu'on puisse ouvrir ou fermer une petite ventelle dans la culasse de cette vanne tournante, pour que la pression de l'eau tienne celle-ci ouverte ou fermée, suivant la volonté de l'éclusier. Toutes ces complications présenteront généralement plus d'inconvénients que d'avantages ; elles pourraient cependant être utiles dans certains cas particuliers, et c'est pourquoi je les indique.

En général, les vannes automobiles sont assez capricieuses ; les herbes ou autres détritus flottants en gênent le mouvement, et lorsqu'elles ne fonctionnent pas d'elles-mêmes on se trouve fort embarrassé. En admettant même qu'elles fonctionnent avec une précision absolue, soit d'elles-mêmes, soit par l'intermédiaire de robinets, de vannes ou d'engrenages manœuvrés sur la rive, elles ne le font que dans les circonstances déterminées pour lesquelles elles ont été établies et si, pour un motif quelconque, on veut les empêcher de se mouvoir dans ces circonstances ou les manœuvrer dans d'autres, on ne peut le faire et l'on se trouve dans un grand embarras, car il n'est pas toujours prudent, ni même possible, de s'en approcher avec des bateaux.

L'expérience des hausses automobiles des déversoirs de la haute Seine, avant l'établissement des passerelles à fermettes, auxquelles on les a reliées par des chaînes, a été fort concluante à ce sujet.

Le barrage à vannes et fermettes, comme celui de M. Poirée, n'exige aucun mécanisme immergé : l'appareil de levage est au contraire toujours accessible ; il pourra donc recevoir toutes les complications nécessaires sans le moindre inconvénient ; à la rigueur il pourrait être mis en mouvement par une machine à vapeur ou par une presse hydraulique, au moyen d'un accumulateur placé sur la

ve et dans lequel la pression serait emmagasinée comme a barrage de l'île Brûlée par une turbine mue par la hute.

Il ne sera donc généralement pas nécessaire de chercher compliquer les vannes pour faciliter les manœuvres, bien ue grâce à la passerelle et à la faible dimension des nnes ces complications perdent ici beaucoup de leurs convénients.

Si ces améliorations peuvent être utiles dans certains as particuliers, malgré les complications qu'elles entraînent, on pourra généralement se contenter de simples anneaux pleins et l'on satisfera à tous les besoins dans la néralité des cas en manœuvrant ces panneaux superposés par étages horizontaux.

§ 4. — Dimensions des fermettes. — Hauteur des retenues.

Personne ne conteste que ce qui a limité jusqu'à présent la hauteur des barrages à fermettes ce sont les aiguilles seules et non les fermettes.

Si l'on peut enlever les aiguilles par des moyens mécaniques, soit en laissant échapper toute une travée à l'aval, comme on le fait sur l'Yonne, sur la Meuse et ailleurs, soit se servant d'un treuil porté sur un bateau pour les retirer vers l'amont, comme on le fait sur la basse Seine, il paraît à peu près impossible de les remettre en place autrement qu'à la main.

La manœuvre à faire pour mettre des aiguilles en place exige des mouvements compliqués auxquels une machine ne saurait guère se plier et pour lesquels la force intelligente et l'adresse d'un homme sont nécessaires, et, cela est plus grave, deux hommes ne peuvent guère s'entr'aider dans la pose d'une aiguille; il faut que l'éclusier soit assez robuste pour les mettre en place à lui seul.

Du reste, il ne me paraîtrait pas très-rationnel de cher-

cher à faire manœuvrer des aiguilles par une machine imitant les mouvements du barragiste. Toutes les fois qu'on a voulu faire mécaniquement un travail que l'on faisait antérieurement à la main, on a dû changer la forme de l'outil que l'homme employait et faire travailler la machine autrement qu'on ne ferait à la main. Il en est de même ici, et, pour manœuvrer des aiguilles mécaniquement, le mieux me paraît être de les remplacer par des vannes.

Or, la nécessité de faire manœuvrer les aiguilles à la main par un seul homme assigne une limite très-restreinte à leurs dimensions et, par conséquent, à la hauteur des barrages. Aussi la hauteur maxima des barrages de M. Poirée paraît à peu près atteinte sur la basse Seine, à Martot-Suresnes, etc., où la retenue s'élève à 3 mètres sur le seuil, elle l'est bien certainement sur la Meuse, où la même hauteur atteint près de $3^{m},50$.

Encore n'arrive-t-on à ces hauteurs sur la Meuse que grâce à l'expédient des échappements, et sur la basse Seine en faisant porter les aiguilles sur trois appuis, au moyen des barres d'appui intermédiaire ou barres de soulagement employées pour la première fois par M. Marini aux barrages de Bezons et d'Andresy. Mais la manœuvre de ces barres d'appui est fort longue, fort difficile, et quelquefois même dangereuse.

La hauteur des barrages de MM. Desfontaines, Girard et autres est encore bien plus limitée. Quant aux barrages de M. Chanoine, outre les complications assez grandes inhérentes à ce système ingénieux, les chevalets, les arcs-boutants et les hausses elles-mêmes atteindraient des dimensions exagérées et leur poids deviendrait considérable si la retenue dépassait une certaine hauteur. Cependant la limite de hauteur à laquelle les barrages de ce genre peuvent s'élever, n'a pas encore été atteinte en pratique; elle paraît pouvoir dépasser 4 mètres et peut-être même $4^{m},50$,

mais la dépense de premier établissement croît très-vite avec la hauteur de la retenue.

Dans un barrage à fermettes et vannes ordinaires étagées, il me paraît démontré par ce qui précède que la hauteur de la retenue ne peut être limitée par les vannes, puisque leur manœuvre se fera toujours à très-peu près dans les mêmes conditions, quel que soit le nombre d'étages que l'on ait besoin de superposer.

Quant aux fermettes, elles peuvent atteindre de très-grandes dimensions sans inconvénients : celles de Port-à-l'Anglais ont déjà près de 5 mètres de hauteur sur 3 mètres de base et pèsent 600 kilog. chacune, on les manœuvre sans difficulté avec un léger treuil ; l'expérience comme le calcul indiquent qu'on pourrait en établir de beaucoup plus grandes encore.

Mais je dois répondre ici à une objection qui m'a été faite à propos de la notice sur le barrage de Port-à-l'Anglais. Quelques ingénieurs ont contesté qu'il pût être nécessaire d'établir des retenues de plus de 4 mètres ou 4m,50 sur le seuil, et je ne puis admettre leur avis. Depuis qu'on établit des barrages mobiles, c'est-à-dire depuis les inventions à peu près simultanées de M. Thénard, en 1831, et de M. Poirée, en 1834, on a toujours augmenté la hauteur de retenue des barrages que l'on a construits successivement, et je crois que l'on est encore assez loin de la hauteur maxima qu'il peut être nécessaire de donner aux barrages mobiles.

Jusqu'à présent, on a toujours subordonné la hauteur des retenues et, par conséquent, les projets de canalisation des rivières à la hauteur du type de barrage que l'on voulait employer. Ainsi, en 1844, M. de Sermet établissait le premier projet de canalisation de la haute Seine avec des barrages relevant chacun les eaux de 2m,30 au-dessus de leur seuil. Plus tard, M. Chanoine modifia ce projet pour employer partout un type de barrage de 3 mètres de hau-

teur ; la même hauteur à peu près uniforme de 3 mètres a été adoptée sur la Marne et sur l'Yonne ; enfin plus récemment M. Krantz a publié (1871, Monrocq, rue Suger, Paris) un projet de canalisation de la basse Seine au moyen de barrages de 4 mètres de hauteur, et dans tous ces projets les niveaux des retenues étaient loin de s'élever jusqu'au niveau des berges. A la page 61 du mémoire qu'on vient de citer, M. Krantz explique que les berges de la Seine se trouvent partout à 1 mètre au-dessus des retenues et qu'il serait facile et peu coûteux de porter cette hauteur à $1^{m},50$ en surélevant de $0^{m},50$ quelques parties basses des chemins de halage. Or, il me semble qu'un projet de canalisation ne doit pas être subordonné à la hauteur des engins mécaniques de fermeture des barrages, mais que d'autres considérations plus importantes doivent déterminer l'emplacement et la hauteur des retenues. Lorsqu'on constr[uit] un barrage, il y a évidemment un très-grand intérêt [à] élever les eaux le plus haut possible, c'est-à-dire jusqu'[au] niveau des berges, quand bien même la dépense d'établis[se]sement de ce barrage devrait s'accroître beaucoup. On réduirait ainsi le nombre des écluses, si l'on n'augmentait pas le tirant d'eau, et cela est très-important, car la construction, l'entretien et la manœuvre des écluses sont toujours plus onéreux que ceux des barrages ; dans tous les cas, il est fort avantageux pour la batellerie d'avoir une écluse de moins à franchir.

En ce qui concerne la Seine, de Paris à Rouen, l'augmentation du tirant d'eau offre un tel intérêt qu'on sera certainement tenté dans l'avenir d'exhausser les retenues autant que le niveau des berges le permettra, et déjà en 1827 M. Frimot, dans un très-remarquable mémoire qui se trouve à la bibliothèque de l'École des ponts et chaussées, proposait de donner à la basse Seine un tirant d'eau minimum de *cinq* mètres au moyen de 10 barrages éclusés relevant les eaux jusqu'au niveau des berges.

Il n'y a en effet aucun motif pour ne pas élever les retenues sur les grandes rivières jusqu'au niveau des berges comme on le fait sur les petits cours d'eau en réglant les usines et, sur une rivière à forte pente et encaissée, on pourra avoir besoin d'établir des barrages mobiles de très-grande hauteur.

Je crois donc qu'il serait très-utile de n'être plus limité dans la construction des barrages mobiles par la hauteur des engins de fermeture, et je crois que les barrages à fermettes et vannes ordinaires pourront atteindre toutes les hauteurs nécessaires.

Il serait évidemment facile d'élever les retenues très-haut avec des engins mobiles assez petits, en plaçant le seuil fixe au-dessus de l'étiage, comme M. Thénard le faisait sur la rivière de l'Isles; mais cette solution a été rejetée à juste titre par le conseil des ponts et chaussées comme l'a rappelé M. Saint-Yves dans son mémoire de 1870 (*Annales*, novembre 1870, page 439), et en effet, il paraît nécessaire à tous les points de vue de conserver sur le seuil des passes des barrages le même tirant d'eau naturel que sur les baissiers voisins.

§ 6. — Résistance des fermettes.

Il est facile de s'assurer qu'on pourra toujours donner aux fermettes une résistance suffisante pour supporter une retenue d'eau très-élevée.

Une fermette est une poutre droite, verticale, encastrée à sa base, qui supporte des pressions à peu près horizontales. La résultante de ces pressions se reporte sur les crapaudines de la base; celle d'aval reçoit à la fois une poussée horizontale vers l'aval et une pression verticale, tandis que celle d'amont doit résister à une traction verticale.

La crapaudine d'aval et la maçonnerie du radier pour-

ront toujours supporter la compression à laquelle elles se-ront soumises quelle qu'en soit l'importance ; quant à la traction verticale sur la crapaudine d'amont et sur le seuil auquel elle est fixée, on pourra toujours la réduire à la mesure convenable en donnant une longueur suffisante à l'essieu de la fermette. En outre on pourrait, en ancrant le seuil convenablement ou en fixant les crapaudines sur une poutre en fonte ou en tôle noyée dans le radier, admettre sur la crapaudine d'amont une traction supérieure à celle de 3.400 kilog. qu'on a acceptée à Port-à-l'Anglais, sans que l'expérience y ait fait reconnaître aucun inconvénient. Enfin il sera facile de diminuer notablement la traction sur le seuil, sans augmenter outre mesure la base de la fermette, en inclinant légèrement son montant d'amont et le vannage qu'il supportera. J'ai fait voir, dans la notice sur le pertuis de Port-à-l'Anglais, qu'on a pu diminuer ainsi la traction sur le seuil des hausses en augmentant très-peu leur longueur et leur charge totale ; la question est ici absolument la même.

Un calcul assez simple montre que, pour annuler com-plétement la traction verticale sur le seuil des fermettes, il suffirait d'incliner le vannage qu'elles supporteront de 15 ou 20° et de donner à la base de la fermette une longueur à peu près égale à la hauteur de la retenue ; la pression sur la crapaudine d'aval diminue, du reste, en même temps que la traction sur celle d'amont.

Il est facile de s'assurer en outre par le calcul que, si l'on néglige la saillie du seuil au-dessus de la base de la fer-mette, la réaction de ses points d'appui sera absolument la même, soit que la pression de l'eau soit répartie sur toute sa hauteur par l'intermédiaire de poutrelles ou de vannes, soit que des aiguilles en reportent seulement le tiers sur le sommet des fermettes. En tenant compte de la saillie du seuil, les points d'appui sont un peu plus chargés par des vannes que par des aiguilles, mais moins que si le

seuil était descendu au niveau des crapaudines, et pour une retenue d'une hauteur énorme, il ne faudrait encore donner qu'un diamètre assez faible aux tourillons de la fermette.

Il n'en serait pas de même pour l'essieu, et il faudrait lui donner un diamètre exagéré pour les fortes chutes, s'il continuait à être en fer rond comme ses extrémités qui forment tourillons. Mais cet essieu est une poutre droite reposant sur deux appuis et soumise à deux forces appliquées assez près des points d'appui, à la rencontre des montants d'amont et d'aval de la fermette ; cette poutre pourra toujours présenter une résistance suffisante, si on lui donne la forme d'une poutre à double T, aux extrémités de laquelle on fixera des tourillons rapportés.

Quant à la partie supérieure de la fermette, elle pourra être plus légère, si elle est chargée par des vannes, que si elle supportait des aiguilles; car si l'on considère une section horizontale quelconque de la fermette et qu'on cherche le moment fléchissant de cette section, sauf au niveau du bief d'amont où il est nul et à la base de la fermette où il atteint son maximum, ce moment sera toujours plus petit, si la retenue est formée par des vannes ou des poutrelles, que si elle était obtenue au moyen d'aiguilles, et pour une certaine section, le moment dû aux vannes pourra n'être que le tiers de celui que produiraient des aiguilles.

La partie de la fermette élevée au-dessus du bief d'amont pour exhausser la passerelle au-dessus des flots imprévus pourra être légère, car elle ne supportera aucune pression d'eau, et depuis le niveau du bief d'amont jusqu'à sa base la fermette devra avoir des dimensions transversales croissantes; son centre de gravité sera donc situé assez bas et plus bas lorsqu'on emploiera des vannes que lorsqu'on emploiera des aiguilles. On pourra donc toujours la manœuvrer facilement avec un treuil assez léger, quand même elle serait très-grande et très-lourde, car le bras de

levier de la puissance sera d'autant plus considérable que le poids à faire mouvoir sera plus fort.

Pour de grandes fermettes supportant des vannes, les entretoises prendront plus d'importance que s'il s'agit d'aiguilles, un seul bracon ne suffira plus, et il conviendra de se rapprocher de la forme des poutres en treillis; on devra aussi employer des fers spéciaux donnant une résistance transversale aussi forte que possible, car le défaut des fermettes de grande hauteur tient à ce qu'elles ne sont pas entretoisées dans le sens transversal au courant entre leur base et leur sommet.

Pour ce dernier motif, il conviendra d'établir les fermettes comme celles de la Saône et de Port-à-l'Anglais avec des fers en U ou à double T, et de rejeter les fers en croix où à simple T dont la résistance transversale est beaucoup moindre.

Quant à la forme générale de la fermette, elle devra être étudiée dans chaque cas particulier; mais la forme habituelle des fermettes destinées à supporter des aiguilles ne conviendrait plus pour une hauteur de retenue un peu forte : les pressions exercées par les vannes transversalement au montant d'amont tendraient à le faire fléchir; les entretoises horizontales s'opposeraient, il est vrai, à cette déformation, mais en reportant des charges transversales sur le bracon unique et sur le montant d'aval, qui seraient de même exposés à subir une flexion. La forme de croix de Saint-André, adoptée pour les fermettes des déversoirs de la haute Seine et pour celles de Port-à-l'Anglais, ne serait pas plus rationnelle, car elle était motivée uniquement par la nécessité de soutenir la pression des roues d'aval du treuil de manœuvre; la branche de cette croix inclinée de l'aval vers l'amont ne concourrait que très-faiblement à résister à la pression des vannes, et en ce qui concerne le treuil, il est inutile de faire descendre cette branche jusqu'à la base de la fermette.

Par ces motifs, je crois que la forme la plus simple et la plus rationnelle pour des fermettes destinées à soutenir plusieurs étages de vannes glissantes, serait celle d'une série de trapèzes superposés d'une hauteur égale à celle des vannes.

Ainsi, de même qu'on a superposé plusieurs vannes pour constituer la retenue, on superposerait plusieurs fermettes Poirée pour soutenir ces vannes ; le trapèze supérieur seul, situé au-dessus du bief d'amont, contiendrait une croix de Saint-André pour supporter le treuil, et les trapèzes inférieurs n'auraient qu'un simple bracon.

La *fig.* 4 (Pl. 6) représente cette disposition, et comme elle forme un treillis simple, il est facile de calculer la résistance des différentes pièces qui le composent. LC étant le niveau du bief d'amont, CE et EG deux vannes successives, la pression R sur la vanne supérieure se décomposera en deux autres forces parallèles P, appliquée en C, et Q, appliquée en E.

Si α est l'inclinaison, que je suppose égale, des montants d'amont et d'aval sur la verticale, 6 l'inclinaison du bracon CF, la force P produira :

$$\text{une tension du montant CE} = P\,\frac{\cos(\alpha + 6)}{\sin(\alpha + 6)},$$

$$\text{et une compression du bracon CF} = P\,\frac{1}{\sin(\alpha + 6)}.$$

Au point F la pression du bracon CF donne :

$$\text{une tension suivant EF} = P\,\frac{\sin(6 - \alpha)}{\sin(\alpha + 6)\cos\alpha},$$

$$\text{et une compression suivant FH} = P\,\frac{\cos 6}{\sin(\alpha + 6)\cos\alpha}.$$

Ainsi l'on calculera facilement la dimension des diverses parties du trapèze CDEF dans lequel CD et DF ne servent,

comme le trapèze supérieur, qu'à supporter la passerelle et son treuil.

La pression de la deuxième vanne EG sera de même R', et se décomposera en deux forces parallèles P', appliquée en E, et Q', appliquée en G; on aura donc au point E les forces Q et P' et la tension de EC et de EF, dont la résultante déterminera la tension de EG et la compression de EH, et ainsi de suite.

On peut remarquer que si les montants de la fermette étaient verticaux, c'est-à-dire si α était nul, la tension du montant CE et la compression du montant FH seraient égales entre elles et à $\frac{P}{\tan \beta}$, et la tension de l'entretoise EF serait égale à P, et comme d'un autre côté les forces R et R' seraient horizontales, on n'aurait au point E que la force verticale $\frac{P}{\tan \beta}$ et la force horizontale $R + P'$. Ainsi, pour calculer la tension de EG et de GH et la compression du bracon EH, il suffirait de reporter parallèlement à elle-même au point E la pression R de la vanne supérieure. Enfin, en inclinant les montants d'amont et d'aval sur la verticale, on réduit la charge de toutes les pièces de la fermette dans une certaine mesure; la tension CE dans le rapport de $\frac{\tan \beta}{\tan (\alpha + \beta)}$; la compression CF dans le rapport de $\frac{\sin \beta}{\sin (\alpha + \beta)}$; la composante de la tension EF normale à CG dans le rapport de $\frac{\sin (\beta - \alpha)}{\sin (\alpha + \beta)}$, etc...

On pourra objecter au dispositif de la *fig.* 4 (Pl. 6) qu'il ne donne pas une résistance transversale suffisante, au moment du relevage des fermettes, dans les sections horizontales voisines des entretoises; mais on remédiera facilement à ce défaut par de larges goussets placés aux points de rencontre des entretoises et des bracons avec les mon-

ants d'amont et d'aval. Cependant il sera peut-être nécessaire pour des fermettes de grande hauteur, par ce motif et aussi pour que les bracons ne soient pas trop chargés, de remplacer le treillis simple de la *fig.* 4 par un véritable treillis, qui donnerait le dispositif de la *fig.* 5 ou même de la *fig.* 6.

Si l'on adopte ces dispositions, le calcul sera plus difficile, il sera même indéterminé à cause des liaisons des pièces qui se croisent; on pourra néanmoins le faire moyennant certaines hypothèses, comme pour les poutres à treillis des ponts en tôle. Dans ce cas il conviendrait, pour ne pas couper les pièces qui se croisent, de réserver la forme en U ou à double T pour le cadre et pour les bracons inclinés; quant aux entretoises horizontales, qui sont tendues et n'ont par conséquent pas besoin d'une aussi grande résistance transversale que les pièces comprimées, elles se composeraient de deux bandes de fer plat embrassant les autres comme des moises doubles (*fig.* 7).

Quant au montant d'amont, il pourra se composer d'un fer à U sur lequel serait rivé un fer à T; ce fer à T formerait la feuillure recevant les vannes, et il déborderait latéralement le fer à U pour masquer les goussets de réunion des entretoises, et leurs rivets qui pourraient gêner le glissement des vannes (*fig.* 7).

Enfin on pourra donner une plus grande rigidité aux bracons, tout en les composant de deux fers à U adossés, comme on l'a fait à Port-à-l'Anglais, en écartant ces deux fers et les reliant de place en place par des rivets traversant des rondelles d'écartement (*fig.* 8).

§ 7. — Entretoisement des fermettes successives. — Augmentation postérieure du niveau de la retenue.

On peut objecter contre l'établissement des fermettes de grande hauteur qu'elles ne sont pas suffisamment entre-

toisées dans le sens transversal au courant, car elles ne sont réunies entre elles qu'à la base par l'intermédiaire du radier et au sommet par la passerelle.

En substituant des vannes aux aiguilles, on reliera complétement les fermettes les unes aux autres par l'amont depuis la base jusqu'au sommet. On pourrait à la rigueur garnir les montants d'aval de glissières dans lesquelles on descendrait des vannes analogues à celles d'amont sur une partie de la hauteur ou seulement des vannes à claire-voie; l'entretoisement serait alors complet à l'aval comme à l'amont.

Cette disposition reviendrait à diviser la chute en deux parties, et si la chute totale était forte, on diminuerait ainsi dans une certaine mesure le danger des affouillements, puisque la force destructive de la cataracte se serait amortie dans les deux chutes successives. En outre, en employant deux vannages successifs à l'amont et à l'aval des fermettes, on diminuerait considérablement la pression sur chacune des vannes, dont le poids et l'épaisseur diminueraient en conséquence, et les manœuvres seraient encore facilitées par cet expédient, mais leur durée totale serait probablement augmentée.

Un mode analogue de répartition de la chute d'un barrage sur deux vannages successifs a déjà été expérimenté avec succès aux barrages voisins de Château-Thierry sur la Marne, où M. Jozon s'est contenté, pour augmenter la hauteur des retenues, de placer des aiguilles contre les fermettes du haut desquelles on manœuvre des hausses Chanoine placées en aval. Cet ingénieur a pu ainsi employer des aiguilles d'une très-grande longueur sans augmenter leur équarrissage et leur poids outre mesure, parce que, grâce aux hausses placées en aval, ces aiguilles ne supportent qu'une faible partie de la chute. Il a pu en outre augmenter la retenue des barrages sans en modifier les hausses, car les fermettes supportent l'excédant de chute que

les hausses n'auraient pu admettre, n'ayant pas été construites pour cela.

Cet exemple de la Marne montre que l'on a quelquefois besoin d'augmenter la hauteur d'un barrage postérieurement à sa construction, et ce fait s'est en effet présenté très-souvent déjà; plusieurs barrages ont dû même être reconstruits entièrement dans ce but, notamment le barrage de Bezons.

Le barrage à fermettes et vannes présentera un avantage très-sensible sur tous les autres à ce point de vue, car si l'on a établi dès le principe les fondations dans des conditions convenables de solidité et si l'on a donné une résistance suffisante aux fermettes, on n'aura qu'à placer une planche au-dessus des vannes pour augmenter la retenue dans la mesure des besoins qui se présenteraient plus tard. Si même on voulait après coup exhausser dans une large mesure un barrage de cette nature, on pourrait le faire sans grands frais, puisqu'il suffirait de remplacer les fermettes et que les anciennes pourraient être utilisées ailleurs.

Dans tous les cas, lorsqu'on établira un barrage dont la retenue ne s'élèvera pas dès le principe jusqu'au niveau des berges du fleuve, il conviendra de donner un excès de résistance aux fermettes, afin de permettre, en cas de besoin, un exhaussement momentané ou permanent de la retenue.

CHAPITRE II.

APPLICATION AU BARRAGE DE PORT-A-L'ANGLAIS. — EXPÉRIENCES.

---

§ 1. — Dispositions adoptées pour les expériences.

Dispositions générales. — Le mode de fermeture des barrages mobiles décrit dans le chapitre précédent a été appliqué à titre d'expérience à la passe la plus profon du barrage de Port-à-l'Anglais, et il a suffi pour cela placer des vannes ordinaires contre les fermettes qui su portent le pont de service de cette passe.

Le barrage de Port-à-l'Anglais a été décrit dans livraison d'août 1873 des *Annales*; la Pl. 20 de 18 en représente les dispositions d'ensemble et la Pl. représente spécialement le pertuis navigable dont les fe mettes supportent maintenant des vannes glissantes; Pl. 6, jointe au présent mémoire, reproduit seulem ces fermettes et montre les dispositions adoptées po le levage et la mise en place des vannes.

Je rappellerai seulement que le pertuis navigable Port-à-l'Anglais a 28^m,70 de débouché linéaire; il fermé par 26 hausses du système de M. Chanoine, q l'on manœuvre avec un treuil roulant sur une passerelle service composée de 26 fermettes.

Le niveau du bief d'amont est maintenu habituelleme à 3^m,80 sur le seuil et s'élève quelquefois jusqu'à 4^m,1 la chute varie avec la hauteur naturelle de la Seine, aval du barrage; elle s'est élevée jusqu'à 3^m,11 au mo de septembre 1874.

Fermettes. — Les fermettes ont 4^m,75 de hauteur ent leurs tourillons inférieurs et la passerelle, 3^m,10 de large à la base et 1^m,20 au sommet; elles sont espacées de

1m,10 d'axe en axe. Elles sont établies avec des fers en U de 0m,08 de base, 0m,035 de hauteur et 0m,007 d'épaisseur; le montant d'amont présente donc une partie plate de 0m,08 de largeur sur laquelle deux vannes s'appuient de 0m,03 chacune par leurs abouts en laissant entre elles un jeu de 0m,02. Cette largeur d'appui de 0m,03 est un peu faible, cependant on n'y a pas reconnu d'inconvénients jusqu'à présent, et il sera facile de donner ailleurs un peu plus d'épaisseur à la fermette et de séparer les vannes voisines en rivant un fer à T sur la partie antérieure du montant d'amont, comme je l'ai indiqué au chapitre précédent. Enfin le fer en U, sur lequel s'appuient les vannes, présente sur ses faces latérales des saillies provenant des plaques ou goussets d'assemblages des entretoises et des rivets, qui sont de nature à gêner le glissement des vannes ou au moins à augmenter considérablement les frottements; il serait facile d'éviter cet inconvénient dans la construction d'un autre barrage, notamment en faisant déborder le fer à T dont il vient d'être question sur les plaques d'assemblage et leurs rivets, comme le montre la fig. 7, Pl. 6.

Vannes. — Trois vannes en bois de chêne de 1m,08 de largeur sur 1m,30 de hauteur ont été placées l'une au-dessus de l'autre dans chaque travée comprise entre deux fermettes voisines, soit en tout 81 vannes pour les 27 travées. Ce vannage s'élève ainsi à 3m,90 au-dessus du seuil, soit à 0m,10 au-dessus de la retenue habituelle du bief, attendu que tout le débit du fleuve s'écoule ordinairement par les intervalles compris entre les hausses à bascule qui ferment les deux autres passes du barrage.

Chaque vanne se compose de 5 madriers de 1m,08 de longueur sur 0m,26 de largeur, assemblés à double rainure et fausse languette en fer feuillard et consolidés par deux fers à T boulonnés près de leurs extrémités. Ces fers

à T ont $1^m,30$ de longueur, $0^m,10$ de base, $0^m,045$ de hauteur et $0^m,01$ d'épaisseur; un de leurs angles embrasse l'angle correspondant du fer en U de la fermette. Lors de la manœuvre des vannes, les fers à T forment glissières et frottent sur les fers en U des fermettes; on a légèrement recourbé les extrémités des premiers, et cela a suffi pour qu'ils ne viennent pas accrocher les goussets des entretoises des fermettes (*fig.* 10 et 11, Pl. 6).

Les vannes des deux étages inférieurs ont $0^m,08$ et celles de l'étage supérieur $0^m,06$ seulement d'épaisseur; enfin un certain nombre d'entre elles portent des poignées en fer du modèle représenté sur le dessin de la Pl. 6 (*fig.* 2).

Par un motif d'économie, on a supprimé la poignée des autres et on l'a remplacée par une chaîne en fer fixée à demeure sur la vanne et dont l'autre extrémité s'accroche tantôt à la passerelle, tantôt au treuil de manœuvre; ces chaînes existaient au magasin du barrage, et leur emploi n'entraînait aucune dépense.

Par le même motif d'économie, on a remplacé les glissières en fer à T d'un certain nombre de vannes par de simples traverses en bois de chêne, et cela ne présente aucun inconvénient, à condition de manœuvrer toujours ces vannes lorsque la chute est presque complétement effacée.

Vannes légères au sommet de la retenue. — D'un autre côté, au lieu de placer dans toutes les travées trois vannes composées uniformément de 5 madriers de $0^m,26$ de hauteur, on a réduit à quatre de ces madriers un certain nombre de vannes de l'étage intermédiaire et de l'étage supérieur, de sorte qu'elles n'aient plus que $1^m,04$ de hauteur au lieu de $1^m,30$, et l'on a complété la fermeture de ces travées par de petites vannes ou de simples planches de $0^m,26$ ou de $0^m,52$ de hauteur, qui suffiraient généralement pour régler la retenue pendant les basses eaux.

Ces vannettes de peu d'épaisseur étant placées au som-

met du barrage, l'éclusier les pose ou les enlève à la main avec une grande facilité sans le secours d'aucun treuil, mais il est obligé de les écarter vers l'amont avec un levier, pour leur faire éviter les boulons, qui fixent à l'amont des fermettes les tiges du garde-corps de la passerelle. Ces boulons et ces tiges, qui sont représentés sur la Pl. 21 de 1873 et qu'on a supprimés sur la Pl. 6 ci-jointe, gênent tous les manœuvres des vannes dans les expériences de Port-à-l'Anglais; mais il est évident qu'on les supprimerait ailleurs en reportant le garde-corps à l'aval.

Appareil de levage. — L'appareil de levage n'est autre que le treuil qui sert habituellement à la manœuvre des hausses établies en aval des fermettes et qui était déjà représenté sur la Pl. 21 de 1873. On a seulement fixé sur ce treuil une petite chèvre qui ne sert qu'à supporter, en l'élevant à la hauteur convenable, une poulie de renvoi nécessaire pour le levage des vannes. Une autre poulie de renvoi nécessaire pour descendre les vannes à fond a été fixée au pied de la chèvre sur le bâti du treuil. Enfin la chèvre porte une petite potence tournante au moyen de laquelle on reprend les vannes, quand elles sont élevées au-dessus de l'eau, pour les amener sur la passerelle et les déposer sur un petit chariot de transport et réciproquement. Cette petite potence a permis d'éviter de faire tourner le treuil lui-même sur la passerelle, car cela aurait nécessité son remplacement par une grue neuve à pivot vertical.

La disposition de la chèvre, adoptée par économie, présente le grave inconvénient d'obstruer la circulation sur le pont de service, car on pouvait auparavant passer d'un côté à l'autre du treuil dans l'emplacement où se trouve aujourd'hui la chèvre, et celle-ci intercepte maintenant le passage. Mais il est évident qu'on remédierait facilement à cet inconvénient en retournant le treuil bout pour bout,

pour le replacer dans la position indiquée sur la Pl. 21 de 1873, et en plaçant la chèvre, ou plutôt les supports nécessaires pour la poulie de renvoi supérieure, au-dessus des flasques en fonte qui portent le treuil et ses engrenages. Cette disposition n'a pu être adoptée à Port-à-l'Anglais, où l'on a voulu employer le treuil tel qu'il avait été établi dans le principe, sans le modifier profondément; mais elle pourra l'être ailleurs, et il sera en outre très-facile d'élargir la passerelle de service, qui est fort étroite à Port-à-l'Anglais, dût-on le faire au moyen de potences en encorbellement fixées aux montants d'aval des fermettes.

Dépenses d'exécution. — Le crédit affecté à la constru tion du vannage destiné à reporter au besoin sur les fe mettes de Port-à-l'Anglais la chute supportée habituell ment par les hausses du système de M. Chanoine établi en aval, a été fixé à 5.500 francs par décision minist rielle du 24 novembre 1874, et les économies indiqué ci-dessus ont permis de ne pas le dépasser.

Mais près du quart de ce crédit a été absorbé par construction indépendante des vannes elles-mêmes.

Les Pl. 20 et 21 de 1873 montrent que le pertu navigable est séparé du déversoir par deux piles ent lesquelles s'abattent les fermettes du pertuis. Pour rep ter sur ces fermettes la retenue formée par les hausses, a fallu masquer le vide ménagé entre ces piles au moye d'un grand vannage fixe dont la construction et la po ont été assez difficiles et onéreuses, parce que les maçonneries des piles n'étaient pas disposées pour le recevoir et qu'il fallait le reporter au large du côté du déversoir pour qu'on puisse abattre la première fermette du pertuis. La présence du radier du déversoir en saillie sur le vide à masquer a encore compliqué cette construction.

Chaque vanne de $1^m,30$ sur $1^m,08$ et $0^m,08$ d'épaisseur

se compose de $0^{mc},112$ de bois de chêne et 44 kilog. de fers pour les glissières en fer à T, la poignée, les languettes en fer feuillard et les boulons; chacune d'elles pèse donc environ 120 kilog. et a coûté près de 60 francs, savoir :

$20^f,16$ pour 0,112 de bois à 180^f et $39^f,60$ pour 44^k de fer à $0^f,90$.

Il faut 81 vannes de cette dimension pour former le vannage du pertuis de Port-à-l'Anglais, et ce vannage aurait coûté en totalité 4.860 francs, si toutes les vannes eussent été établies sur le modèle le plus coûteux; en ajoutant 140 francs pour la chèvre du treuil, on arrive à une dépense totale de 5.000 francs environ, soit pour $28^{m.\ courants},70$, $174^f,22$ par mètre courant.

La charpente et la serrurerie des hausses, fermettes, seuils, radier, barres à talons, etc., de ce pertuis ont coûté en 1870, $59.879^f,24$ (*Annales* 1873, 2e semestre, p. 138), il résulte du décompte des travaux que cette somme se compose de $21.540^f,49$ pour les fermettes et leurs accessoires, soit $750^f,53$ par mètre courant, et de $38.338^f,75$ pour les hausses, leurs rapports, leurs barres à talons, etc., soit $1.335^f,84$ par mètre courant.

Si donc on avait dès le principe remplacé les hausses du système Chanoine par de simples vannes appuyées sur les fermettes, les mécanismes mobiles de fermeture auraient pu ne coûter que $750^f,53 + 174^f,22 = 924^f,75$ au lieu de $750^f,53 + 1.335^f,84 = 2.086^f,37$ par mètre courant, et cela représente une économie de $1.161^f,62$ par mètre pour ces mécanismes seulement.

D'autre part, en laissant de côté les batardeaux et les épuisements, les maçonneries et terrassements du pertuis de Port-à-l'Anglais ont coûté, en 1870, $39.280^f,52$ (*Annales*, 2e semestre 1873, page 138), soit $1.368^f,65$ par mètre courant. Or la coexistence des fermettes et des hausses a obligé de donner 16 mètres de longueur au radier dans le sens du courant, et si l'on remarque que sur

ces 16 mètres $6^m,50$ ont dû être construits en pierres de taille dans l'emplacement des hausses, on admettra facilement qu'en supprimant celle-ci on aurait pu réduire la longueur du radier et économiser au moins le quart de la dépense des maçonneries, soit $342^f,16$ par mètre courant. On aurait ainsi économisé en définitive $1.161^f,62 + 342^f,16 = 1,503^f,78$ par mètre courant, c'est-à-dire près de 30 p. 100 de la dépense totale qui s'est élevée à $5.150^f,97$ par mètre courant.

Ainsi il est permis de croire qu'en adoptant le nouveau système, au lieu de celui qui a été établi en 1870 à Port-à-l'Anglais, pour fermer un barrage comme celui de Port-Villez dont la longueur atteint 120 mètres, et en supposant toutes choses égales d'ailleurs, on pourra réaliser sur cette construction une économie de 180.000 francs environ.

Enfin on peut remarquer que le pertuis de Port-à-l'Anglais ayant coûté $5.150^f,97$ par mètre courant, si l'on retranche $1.503^f,78$ de cette somme, il reste seulement 3.650 francs environ ; or les dépenses faites pour la construction des 12 barrages de la haute Seine, entre Montereau et Paris, donnent en moyenne par mètre courant de passe navigable fermée par des hausses de 3 mètres : $3.069^f,68$ (*Annales* 1868, 2e semestre, page 408) ; ainsi le nouveau système de fermeture permet d'obtenir 4 mètres de retenue au lieu de 3 mètres, moyennant une augmentation de dépense de 600 francs ou d'un cinquième seulement par mètre courant.

§ 2. — Expériences.

Nature des expériences. — Il n'est pas possible, dans les expériences de Port-à-l'Anglais, de manœuvrer les vannes dans l'ordre logique et rationnel indiqué au § 2 du premier chapitre et d'enlever ou replacer toutes celles

d'une rangée horizontale avant de passer à la suivante, pour n'opérer que sous de faibles chutes, car la circulation des bateaux est beaucoup trop active dans les deux biefs séparés par le barrage pour qu'on puisse modifier leurs niveaux. On ne pourrait opérer de cette manière qu'au moment des manœuvres générales du barrage, qui sont aujourd'hui fort rares. On est donc obligé, dans ces expériences, d'enlever et de replacer ensuite les trois vannes d'une travée verticale comprise entre deux fermettes, et bien qu'on se place ainsi dans des conditions très-désavantageuses tout à fait différentes de celles de la pratique et que la disposition des fermettes et du treuil soient imparfaites, on a fait fréquemment cette manœuvre sans difficulté sous de fortes chutes ; l'expérience n'en est, du reste, que plus concluante.

Cette manœuvre a été faite notamment : le 3 avril dernier, en présence de M. Cambuzat, inspecteur de la division, et de MM. les ingénieurs en chef Leferme et Rougeul avec des hauteurs d'eau de $3^m,78$ en amont et $1^m,48$ en aval des vannes, et par conséquent sous une chute de $2^m,30$; le avril, en présence de MM. les inspecteurs généraux Kleitz, Kolb, Graeff, Chatoney et Duverger avec des hauteurs d'eau de $3^m,78$ en amont et $1^m,29$ en aval des vannes et une chute de $2^m,49$; enfin le 4 mai, en présence de divers inspecteurs et ingénieurs et des élèves de l'École des ponts et chaussées.

Lors de cette dernière expérience un certain nombre de couvre-joints se trouvaient placés sur les intervalles des hausses établies en aval des fermettes, de sorte que l'eau s'élevait entre les vannes des fermettes et les hausses à mesure qu'on levait les vannes. Toutes les vannes étant placées contre les fermettes, l'eau s'élevait à $3^m,78$ sur le seuil d'amont, à $1^m,60$ entre les vannes et les hausses et à $1^m,13$ en aval de celles-ci ; mais lorsqu'on eut enlevé les trois vannes d'une travée de fermettes, l'eau s'éleva à

2 mètres en amont des hausses, et il n'y avait plus que $1^m,78$ de chute sur les vannes lorsqu'on descendit celle du fond pour la remettre en place. Les 3 et 9 avril, il n'y avait pas de couvre-joints sur les hausses, et le niveau a peu varié en aval des fermettes.

Cette observation montre déjà que le vannage des fermettes est beaucoup plus étanche que celui formé par les hausses établies en aval, et en effet lorsque les vannes sont bien à leur place elles perdent très-peu d'eau.

Lorsque toutes les vannes sont posées contre les fermettes, l'eau baisse immédiatement entre elles et les hausses. Le 3 avril, il n'y avait que $0^m,10$ de chute de l'amont à l'aval des hausses, tandis que les vannes des fermettes supportaient une chute de $2^m,30$; le 9 avril, les chutes étaient de même 0,13 seulement pour les hausses et $2^m,49$ pour les vannes; enfin le 4 mai, alors qu'il y avait une travée de vannes de $1^m,10$ de largeur enlevée sur $3^m,7$[illegible] de hauteur et qu'un certain nombre de couvre-joints se trouvaient sur les intervalles des hausses, le vannage des fermettes supportait $1^m,76$ de chute et les hausses $0^m,8$[illegible] seulement.

Levage des vannes. — Les *fig.* 1 et 2, Pl. 6, représentent le levage d'une vanne. Si elle est munie d'une chaîne, l'éclusier l'accroche à celle qui passe sur la poulie supérieure de la chèvre; si au contraire la vanne est munie d'une simple poignée, l'éclusier accroche la chaîne du treuil à la douille de sa gaffe de manœuvre, puis il lance celle-ci en amont de manière qu'elle vienne s'appuyer sur la vanne; il soulève alors la gaffe dont le crochet rencontre la poignée et s'y accroche nécessairement grâce à la forme de celle-ci.

Il suffit de barrer au treuil pour élever la vanne jusqu'au-dessus de l'eau; on la reprend alors avec les moufles accrochés à la petite potence tournante, et en fai-

sant pivoter celle-ci on dépose la vanne soit sur la passerelle, soit sur un petit chariot de transport.

Mise en place d'une vanne. — Pour remettre une vanne en place, on l'amène auprès du treuil sur le petit chariot, on l'enlève avec les moufles de la potence, on fait tourner celle-ci et on laisse descendre la vanne contre les fermettes par son seul poids, jusqu'à ce qu'elle soit immergée de plus de la moitié de sa hauteur et que la pression de l'eau l'empêche de s'enfoncer davantage. S'il s'agit d'une vanne de l'étage supérieur, il suffit à l'éclusier de peser dessus avec son pied pour l'amener au contact de la vanne du deuxième rang. Pour les vannes du fond, on place sur le sommet de la vanne une tige ou flèche en bois terminée par une fourchette qui embrasse la vanne, et vers l'extrémité supérieure de laquelle on fixe la chaîne du treuil après l'avoir fait passer sous la poulie de renvoi inférieure, comme le montre la *fig.* 3 de la Pl. 6.

Il suffit alors d'agir sur le treuil pour enfoncer la vanne sous l'eau, et l'on reconnaît qu'elle est descendue à fond lorsqu'une marque tracée sur la flèche vient affleurer la passerelle.

Sur le dessin, la flèche semble n'être guidée par rien dans son mouvement ; en réalité, elle s'incline légèrement vers l'aval pour s'appuyer successivement sur les diverses traverses de la chèvre, et comme cela produit un frottement assez dur, il conviendrait de la faire porter alors sur des galets ou rouleaux fixés à la chèvre.

Dispositions diverses du treuil. — On obtiendrait facilement ce résultat en remplaçant la chèvre par un bâti analogue à celui des sonnettes à battre les pieux et portant comme elles deux poutres jumelles dressées dans le même plan que la face d'amont des fermettes et qui serviraient de guides à la flèche destinée à enfoncer les vannes.

Pour que la pression sur les vannes s'exerce toujours normalement à leur largeur et qu'elles ne puissent s'incliner vers l'une ou l'autre fermette en augmentant considérablement les frottements, on pourrait employer deux flèches parallèles et reliées par des traverses comme une échelle ; chacune de ces flèches serait alors guidée contre une des jumelles de la sonnette. En outre, on pourrait placer à la base de l'échelle une traverse plus longue venant s'appuyer sur les deux fermettes voisines comme les vannes elles-mêmes, et cette traverse porterait un crochet à déclic qui s'accrocherait de lui-même à la poignée de la vanne en manœuvre.

L'échelle servirait alors à lever comme à descendre les vannes, le crochet à déclic serait amovible et on l'enlèverait pour descendre les vannes à fond. On pourrait, du reste, manœuvrer l'échelle soit au moyen d'une chaîne passant tantôt sur une poulie de renvoi supérieure, tantôt sous une poulie inférieure et enroulée sur le treuil, soit au moyen d'une crémaillère fixée à l'échelle et qui engrènerait avec un des pignons du treuil.

Il serait facile de débrayer cette crémaillère ou le treuil lui-même, si l'on voulait se servir de l'échelle de manœuvre comme du mouton d'une sonnette pour frapper sur les vannes et les descendre à fond plus rapidement. Mais ces chocs pourraient avoir quelques inconvénients, et il conviendrait dans ce cas de faire tomber l'échelle de manœuvre d'une très-faible hauteur seulement à chaque coup.

Enfin, comme les engrenages absorbent beaucoup de force par leurs frottements, on pourrait les remplacer par une petite pompe à main, et un corps de presse hydraulique fixé entre les jumelles de la sonnette remplacerait la crémaillère. Il suffirait que le cylindre de cette presse hydraulique eût une longueur assez restreinte qui pourrait être égale à la hauteur d'une vanne; les échelons qui réunissent les deux montants de l'échelle seraient remplacés par des

boulons ou clefs mobiles, et leur distance serait égale à la course du piston. Une de ces clefs traverserait à la fois les montants de l'échelle et la tige de la presse, et lorsque celle-ci serait au bout de sa course, on la ramènerait en sens contraire à la clef suivante; pendant ce changement la vanne serait évidemment maintenue immobile contre les fermettes par la seule pression de l'eau.

A ce propos, on remarquera que les vannes étant toujours en équilibre stable contre les fermettes, elles ne présenteront jamais pour les éclusiers aucun des dangers auxquels les exposent les aiguilles et les hausses mobiles de M. Chanoine. Celles-ci, au contraire, échappent brusquement de leurs appuis pendant les manœuvres, et si l'éclusier manque d'attention ou d'adresse ou commet quelque imprudence, il reçoit un choc violent et il est quelquefois jeté à la rivière; rien de tout cela n'est à craindre avec des vannes toujours en équilibre sur leurs glissières, tant qu'elles sont immergées.

Durée des manœuvres. — Nous avons pris note du temps employé à la manœuvre des vannes lors de diverses expériences, et il en résulte que ce temps est à peu près le même pour le levage et pour la mise en place des vannes, comme on pouvait s'y attendre. Il faut de 2 à 3 minutes pour enlever une vanne de $1^m,08 \times 1^m,30 = 1^{mq},41$ de l'étage supérieur. La manœuvre des vannes inférieures est d'autant plus longue qu'on la fait à Port-à-l'Anglais sous la chute totale du barrage; elle exige de 5 à 6 minutes pour une vanne de deuxième rang, et de 8 à 10 minutes pour une vanne de l'étage inférieur sous une forte chute, mais cette dernière manœuvre ne sera guère utile en pratique. Nous avons, au contraire, fait remarquer dans le premier chapitre que les vannes de l'étage inférieur seront les moins chargées au moment des manœuvres ordinaires.

Quoi qu'il en soit, on voit que l'on peut ouvrir ou mas-

quer, en 15 à 19 minutes au plus, une travée de barrage de $3^m,80 \times 1^m,08 = 4^{mq},10$. A Suresnes, on place où l'on enlève de 100 à 120 aiguilles à l'heure, soit 2 aiguilles à la minute, et l'on fait ainsi varier le débouché de $3^m,00 \times 0^m,20 = 0^{mq},60$ à la minute. La manœuvre des vannes de l'étage supérieur à Port-à-l'Anglais donne donc à peu près le même débouché par minute que la manœuvre des aiguilles à Suresnes. Quant à la manœuvre des vannes de l'étage inférieur telle qu'on la fait dans les expériences de Port-à-l'Anglais, on ne saurait la comparer à celle des aiguilles, car on n'a jamais, que je sache, manœuvré des aiguilles sous une retenue de $3^m,80$ de hauteur avec plus de 2 mètres de chute.

Les hausses de 3 mètres des passes navigables de la haute Seine s'abattent presque instantanément, au moyen des barres à talons, mais il faut en moyenne 10 minutes pour en relever une avec le bateau de manœuvre et réduire le débouché de $3^m,00 \times 1^m,20 = 3^{mq},60$, encore faut-il remarquer que ce relevage ne peut s'opérer que sous de très-faibles chutes. Il serait tout à fait impossible de relever une hausse du système Chanoine sous la chute totale du barrage comme on le fait pour les vannes de Port-à-l'Anglais ; on ne peut le faire qu'en masquant au préalable l'emplacement de la hausse par un écran ou échafaudage provisoire en charpente, et cela exige alors un temps relativement considérable et généralement plusieurs heures.

On conclura peut-être de ces faits que la manœuvre des vannes glissantes est trop lente, et c'est là en effet un défaut du système, mais on pourrait peut-être l'atténuer. Un homme agissant sur un treuil ne peut gagner en force que ce qu'il perd en vitesse, et c'est pourquoi nous avons signalé la possibilité de remplacer le treuil par une presse hydraulique.

La presse est en général un outil très-lent, parce qu'un seul homme agit sur la pompe ; mais on remarquera que

cette pompe ne doit fonctionner que d'une manière intermittente pendant les manœuvres et, si l'on place à côté un réservoir de pression ou accumulateur, on pourra travailler continuellement à la pompe et dépenser ensuite en une minute, au moment de la manœuvre d'une vanne, la force accumulée pendant deux ou trois minutes, alors que le treuil serait au repos pour l'accrochage, le décrochage de la vanne, etc., et je crois que l'on activera ainsi notablement les manœuvres.

On pourrait ajouter qu'il existe maintenant presque partout de petits treuils à vapeur à la fois très-puissants et d'une marche rapide, et dont le volume n'est guère supérieur à celui de l'appareil de levage représenté sur la Pl. 6, et que la force motrice fournie par une machine à vapeur est certainement plus économique que celle produite par des hommes agissant sur un treuil. Mais je ne pense pas que ces complications soient nécessaires à moins de circonstances particulières, car j'ai déjà fait remarquer qu'on ne sera jamais très-pressé de manœuvrer un barrage à fermettes et vannes, puisqu'on n'en manœuvrera jamais qu'une faible partie à la fois.

D'une part on ne devra faire varier son débouché qu'à mesure des variations de débit du fleuve, et d'autre part le déversement de l'eau sur toute la longueur du barrage donnera une grande latitude pour la durée des manœuvres.

L'enlèvement d'une vanne de $1^{m},30$ à l'étage supérieur du barrage produit une augmentation de débit de $2^{mc},60$ par seconde au moins; l'enlèvement du premier rang de vannes augmentera donc le débit par seconde de $2^{mc},60$ en deux minutes ou en une heure de plus de 75 mètres cubes; il n'est pas probable que le débit de la rivière augmente aussi rapidement, et d'ailleurs, si cela avait lieu, le débit par déversement sur toute la longueur du barrage augmenterait aussi, et le bief ne s'élèverait que très-lentement.

En enlevant ensuite les vannes du deuxième rang, de

1^{m},30 de hauteur, on augmentera en huit à dix minutes le débit par seconde d'au moins 5 mètres cubes, si cette vanne n'est pas noyée par l'aval. Le débit total sera alors de près de 7^{mc},50 par mètre courant de barrage après l'enlèvement du deuxième rang de vannes : il est évident que la chute s'effacera presque complétement, et qu'on aura tout le temps nécessaire pour procéder au levage du troisième rang de vannes ; il est d'ailleurs fort probable que cette dernière manœuvre ne sera pas immédiatement nécessaire. Du reste, si le débit de la rivière augmente aussi vite, la chute du barrage diminuera rapidement, et la manœuvre de l'étage intermédiaire et de l'étage inférieur des vannes sera plus rapide qu'elle n'a pu l'être à Port-à-l'Anglais sous plus de 2 mètres de chute. Enfin, s'il s'agit de débits aussi considérables, la longueur du barrage sera fort grande et l'on pourra employer deux appareils de levage et faire travailler en même temps deux équipes de manœuvres.

Frottement des vannes sur les fermettes. — Quelques expériences ont été faites pour déterminer, au moyen d'un dynamomètre, la valeur des efforts nécessaires pour lever les vannes. On a employé pour cela un dynamomètre à cadran de Régnier, qui appartient à l'École des ponts et chaussées, en l'intercalant entre deux maillons de la chaîne qui sert à lever les vannes. Mais pour ne pas trop charger cet instrument, on a replié la chaîne qui descend de la poulie supérieure de la chèvre, *fig.* 1, Pl. 6, autour d'une poulie mobile à chape. La vanne à lever était fixée à la chape de cette poulie mobile, et l'extrémité de la chaîne du treuil, après avoir passé autour de cette poulie, venait s'attacher au montant de la chèvre ; le dynamomètre placé près de ce point fixe y restait dans une position invariable, où il était toujours facile de l'observer, et ses indications donnaient la moitié de l'effort exercé sur la vanne. Malgré

cette disposition on n'aurait pu sans danger pour le dynamomètre exercer des tractions trop considérables, aussi n'a-t-on opéré que sur des chutes assez restreintes.

Je citerai seulement trois des expériences qui ont été faites, l'une pour chaque rangée de vannes, et en choisissant celles qui ont été faites sous les charges les plus fortes.

1° *Vanne de l'étage supérieur.*—L'eau s'élevait, au moment de l'expérience, à $3^m,82$ sur le seuil, soit à $1^m,22$ au-dessus de la base de la vanne en manœuvre qui n'était pas noyée par l'aval ; la charge hydrostatique de cette vanne de 1,08 de largeur était donc $1.000^k \times \frac{\overline{1.22}^2}{2} \times 1,08 = 799^k,20$.

Le dynamomètre a marqué un effort initial de 450 kilog. qui diminua rapidement ; le poids de la vanne étant de 120 kilog., la résistance due au frottement était de 330 kilog., et le coefficient $\frac{330}{779} = 0.41$.

2° *Vanne du deuxième rang.* — L'eau s'élevait à 3,81 en amont, de 1,85 en aval sur le seuil, soit à $2^m,51$ en amont et 0,55 en aval au-dessus de la base de la vanne expérimentée : cette vanne ayant 1,30 de hauteur et 1,08 de largeur, elle supportait une pression hydrostatique de

$$1.000^k \times 1,08 \left[\frac{(2,51 - 1,30) + (2,51 - 0,55)}{2} (1,30 - 0,55) + (2,51 - 0,55) \times 0,55 \right] = 2.447^k.$$

Le dynamomètre a oscillé de 1.140 à 1.300 kilog. pendant qu'on levait la vanne de $0^m,11$; l'effort dû au frottement était donc au maximum $1.300 - 120 = 1.180$ kilog., la vanne pesant 120 kilog., d'où le coefficient $\frac{1.180}{2.447} = 0,482$.

3° *Vanne de l'étage inférieur.* — L'eau s'élevait à $3^m,80$ en amont et 2 mètres en aval sur le seuil ou la base de la vanne : la chute était donc de $1^m,80$, et la vanne était complétement immergée dans le bief d'aval ; ainsi elle supportait une charge hydrostatique de $1.000^k \times 1,08 \times 1,80 \times 1,30 = 2.527,20$.

Le dynamomètre a oscillé de 1.240 à 1.460 kilog., pendant qu'on levait la vanne à $1^m,20$; il y a eu en outre à un certain moment un choc marquant au dynamomètre 1.860 kilog. ; mais je crois qu'on ne doit pas tenir compte de ce chiffre, car cet effort exceptionnel était dû à la rencontre de la vanne et d'une plaque d'assemblage des entretoises de la fermette. En déduisant le poids de la vanne de 1.460 kilog. on trouve 1.340 kilog., et pour le coefficient du frottement $\frac{1.340}{2.527,20} = 0,491$.

Ainsi malgré les conditions défectueuses de l'expérience, où les saillies existant sur le nu des fermettes augmentent considérablement les frottements, le rapport des efforts nécessaires pour mouvoir les vannes à leur pression hydrostatique ne s'est pas élevé à plus de 50 p. 100. Il n'est, du reste, pas possible d'en déduire le coefficient de frottement, car la pression sur les vannes due à la vitesse des courants est tout à fait inconnue.

RÉSUMÉ.

En résumé, les expériences qui ont été faites à Port-à-l'Anglais ont entièrement confirmé nos prévisions, et le barrage à fermettes et vannes glissantes ordinaires réalise les conditions suivantes :

1° Beaucoup plus simple que le barrage à hausses mobiles qui porte le nom de M. Chanoine, il permettra d'élever

les retenues encore plus haut et jusqu'au niveau des berges de la rivière moyennant une dépense de premier établissement beaucoup moins élevée pour chaque mètre courant de passe navigable.

2° La manœuvre de fermeture n'exigeant plus qu'on laisse passer l'eau sur un déversoir à fermeture mobile lors de la mise en place des dernières vannes, le débouché linéaire du barrage pourra être réduit, pourvu que la section totale suffise à l'écoulement des crues, et il pourra en résulter dans la plupart des cas une nouvelle économie sur la construction première.

3° L'entretien sera beaucoup plus facile et moins dispendieux que celui des barrages à hausses mobiles toujours immergés.

4° La dépense de premier établissement sera à très-peu près la même que pour les barrages à fermettes et aiguilles de M. Poirée, si la hauteur de la retenue est la même.

5° La retenue pourra être élevée beaucoup plus haut avec des vannes qu'avec des aiguilles et la dépense de premier établissement ne croîtra pas trop rapidement avec la hauteur de la retenue.

6° Le pont de service pourra être élevé suffisamment au-dessus du bief d'amont pour qu'on ne puisse être surpris par une crue imprévue et l'on ne sera jamais exposé à ne pouvoir ouvrir le barrage en temps utile, quelle que soit la durée de cette manœuvre.

7° Les eaux déversant sur toute la longueur du barrage, comme sur les hausses de M. Chanoine, on pourra supprimer le long et coûteux déversoir fixe qu'il est indispensable d'établir à côté des barrages à aiguilles, et il en résultera une économie considérable sur la construction première en même temps qu'une plus grande sécurité.

8° On pourra toujours régler comme avec des aiguilles le débouché du barrage à la mesure du débit de la rivière et l'on ne sera jamais obligé d'ouvrir ou de fermer rapidement

toute une passe du barrage au risque de produire un flot ou un affameur dangereux pour les biefs d'aval.

9° Il sera très-facile de calculer à chaque instant le débit par déversement sur la crête du barrage et d'indiquer télégraphiquement aux éclusiers d'aval les manœuvres qu'ils devront faire.

10° Le débit des eaux étant réparti uniformément sur toute la largeur de la rivière, les remous seront moins à craindre en aval; il en sera probablement de même des affouillements.

11° Le déversement sur toute la largeur de la rivière entretiendra dans le bief d'amont un courant superficiel qui le débarrassera de tous les immondices flottants qui viennent ordinairement s'accumuler en amont des aiguilles des barrages de M. Poirée.

12° Lorsqu'un barrage sera ouvert en partie ou en totalité, il ne sera pas nécessaire d'attendre pour le refermer que le niveau du fleuve soit descendu à un niveau déterminé, au préjudice de la batellerie et des usines situées dans le bief d'amont, comme cela est généralement nécessaire avec les autres systèmes de barrages. On pourra, au contraire, maintenir le bief d'amont à un niveau invariable sans lui permettre aucun rabais, ni aucune surélévation, sauf en temps de crue et lorsque le barrage entièrement ouvert ne produira pas plus d'effet que s'il n'existait pas.

13° Le barrage sera aussi étanche que possible pendant les basses eaux et le débit presque tout entier de la rivière pourra être consacré à l'usage d'une usine hydraulique.

14° Aucun mécanisme immergé ne sera nécessaire, l'appareil de levage placé sur le pont de service sera toujours accessible et facile à entretenir et à réparer, quelque compliqué qu'il puisse être.

15° Quelque considérables que puissent être les efforts nécessaires pour lever les vannes, cette manœuvre n'of-

frira jamais de danger pour les éclusiers, même en cas de rupture d'une corde, d'une chaîne ou d'une partie du treuil, car les vannes seront toujours en équilibre stable et ne pourront produire spontanément aucun choc.

16° La retenue du barrage pourra être exhaussée postérieurement à la construction première sans grande difficulté et sans grande dépense, si cela est reconnu nécessaire.

17° Si la retenue doit s'élever jusqu'au niveau des berges, on pourra en régler le niveau par expérience et par tâtonnements, en exhaussant progressivement le vannage jusqu'au niveau maximum, et en s'arrêtant au moment où l'on risquerait de submerger certaines parties basses de la vallée, soit directement, soit par infiltrations.

D'un autre côté, il ne semble pas qu'on puisse faire au barrage à fermettes et vannes d'autre objection que celles relatives à la durée des manœuvres, et il ne nous en a pas été fait d'autres jusqu'à présent.

Mais, d'une part, il y a, je crois, plus d'avantages que d'inconvénients à manœuvrer très-lentement les barrages mobiles, afin de ne pas produire de perturbations brusques dans le régime des eaux, non plus que des remous et des affouillements dangereux en aval.

D'autre part, on pourra placer la passerelle de service notablement au-dessus de la retenue, et comme l'eau pourra déverser sur toute la longueur du barrage, elle ne s'élèvera jamais jusqu'à cette passerelle et l'on aura toujours tout le temps nécessaire pour ouvrir le barrage. Il ne sera, du reste, jamais nécessaire de le fermer rapidement, car on produirait un affameur en aval, et cela serait plus nuisible qu'utile.

Si dans certains cas particuliers il est reconnu nécessaire d'activer l'ouverture du barrage, on pourra le faire soit au moyen d'échappements analogues à ceux des aiguilles ou

des portes de chasses, soit en insérant des papillons tournants ou même automobiles dans les vannes habituellement pleines, soit enfin en perfectionnant l'appareil de levage, dût-on le faire mouvoir par une machine à vapeur dont la force et les dimensions seraient, du reste, très-petites.

Paris, le 7 août 1875.

N° 16

NOTE

SUR

LES RÉSULTATS ÉCONOMIQUES DE L'EXPLOITATION

DU CHEMIN DE FER DE PERPIGNAN A PRADES

Par M. CH. NORMAND, ancien élève-externe de l'École des mines de Paris.

Exposé. — La première section du chemin de fer de Perpignan à Prades, d'une longueur de 23 kilomètres, entre Perpignan et Ille, a été livrée à l'exploitation le 15 décembre 1868. L'ouverture d'une nouvelle section de 4 kilomètres, entre Ille et Bouleternère, a eu lieu le 15 mars 1870, en sorte que depuis cette époque la longueur de la ligne exploitée est de 27 kilomètres.

Jusqu'au 13 février 1873, date où le chemin a été mis sous séquestre, l'exploitation a été faite par l'intermédiaire d'un fermier, avec qui la compagnie concessionnaire avait traité. J'étais le mandataire de ce fermier, et directeur de l'exploitation. La direction de l'exploitation m'a été conservée par l'administration du séquestre. Je remplis encore cette fonction.

Mon objet unique dans cette note est de faire connaître les résultats économiques de l'exploitation, considérée au point de vue du trafic, et abstraction faite des frais de premier établissement. Je m'abstiendrai donc de toute appréciation relative à la valeur industrielle de l'entreprise.

Description sommaire de la ligne.— Le chemin de fer de Perpignan à Prades est établi dans la vallée de la Têt. Il

est à une seule voie. En dehors des voyageurs, son principal trafic consiste : à la descente, en minerais de fer et en fontes ; à la remonte, en fourrages, céréales et charbons de bois.

La voie est construite en rails Vignole réunis par des éclisses, et reposant sur des traverses en pin injectées au sulfate de cuivre.

Elle se détache par une courbe de 300 mètres de rayon de la voie du chemin de fer de Narbonne à Port-Vendres, à 350 mètres de l'axe du bâtiment des voyageurs de la gare de Perpignan. Au delà toutes les courbes sont à grands rayons. La déclivité des rampes ne dépasse pas $0^m,015$ par mètre.

On compte sur la ligne six stations, à Perpignan, gare commune avec le Midi, au Soler, à Saint-Féliu d'Avail, à Millas, à Ille et à Bouleternère.

Le service journalier se fait en navette. Il comprend trois trains à la remonte et trois trains à la descente ; ce sont des trains mixtes. On est quelquefois obligé de faire des trains spéciaux de marchandises à la remonte.

Matériel roulant.— Le matériel roulant a été fourni par le fermier de l'exploitation, et est resté sa propriété.

Il se compose :

1° *De trois machines locomotives.*

Ces machines, de construction anglaise, sortent des ateliers de Sharpe et Stewart. Ce sont des machines-tenders à trois paires de roues, dont deux couplées.

Deux pèsent, à vide, 24 tonnes chacune ; sous charge entière, 29 tonnes ;

La troisième ne pèse, dans les mêmes conditions, que 17 et 21 tonnes.

2° *De cinq wagons à voyageurs.*

Deux wagons sont à deux étages.

3° *De deux fourgons.*

4° *De soixante et onze wagons à marchandises.*

Personnel. — Le personnel de l'exploitation, du mouvement, de la traction et de la voie se compose de 94 personnes.

Administration centrale.	1 directeur de l'exploitation.
	3 agents dans les bureaux.
Mouvement et exploitation.	1 inspecteur.
	5 chefs de stations.
	3 commis ou comptables.
	7 hommes d'équipe.
	2 agents à la gare de Perpignan.
	1 chef de train.
	2 gardes-frein.
Traction et voie.	1 chef de service de la traction et de la voie.
	1 piqueur.
	2 mécaniciens.
	5 chauffeurs.
	5 hommes au dépôt et à l'atelier.
	22 cantonniers et chefs cantonniers pour l'entretien de la voie.
	4 gardes-ligne.
	29 gardes-barrière.

Observations sur la composition des tableaux des dépenses et des recettes. — Des observations sont nécessaires pour que l'on puisse tirer quelque fruit de la lecture des tableaux qui vont suivre, et dans lesquels j'ai présenté, sous la forme la plus succincte, les résultats économiques de l'exploitation : 1° Lors de l'ouverture de l'exploitation, entre Perpignan et Ille, la plus grande partie des traverses posées depuis longtemps et dans un ballast défectueux étaient pourries. La modification du ballast et le remplacement des traverses occasionnèrent pendant les deux premières années de grandes dépenses. Ce travail, qui ne pouvait être considéré comme la conséquence d'un entretien normal, a fait l'objet d'une convention spéciale entre la compagnie et son fermier, convention qui fixa la part des dépenses à supporter par chacun d'eux. C'est le total des sommes réellement payées par le fermier qui figure dans les ta-

bleaux (1869 et 1870), comme dépenses d'entretien de la voie.

Une partie du ballast est encore défectueuse, et il en résulte pour les frais annuels d'entretien une augmentation anomale.

2° Pour l'usage de la gare commune de Perpignan, la compagnie de Prades doit à la compagnie du Midi un loyer annuel de 10 000 francs avec accroissement de 400 francs par chaque mille francs de recette kilométrique, au-dessus de 10 000 francs. C'est là une dépense qui doit figurer au compte de construction, et je ne l'ai pas comprise dans le compte d'exploitation, mais j'ai porté à ce compte les sommes payées à la compagnie du Midi, pour le service de l'exploitation proprement dite. Elles se composent :

D'une redevance fixe annuelle de. . . . . 7 200 fr.
D'une indemnité de . . . . 0f,3[illegible]
par tonne manutentionnée et par chaque opération de chargement et de déchargement.
D'une indemnité de. 0f,10
par tonne non transbordée.

Ces indemités sont calculées pour une recette brute, ne dépassant pas 10 000 francs par kilomètre et par an. Pour chaque mille francs d'excédant, ces indemnités sont augmentées d'un dixième.

Les tableaux montrent combien cette dépense est considérable, relativement aux frais d'exploitation proprement dite du reste de la ligne. Elle s'élève aujourd'hui à moitié de cette dernière dépense.

3° Pour faciliter la continuation de l'exploitation, l'administration du séquestre a dû louer au fermier le matériel qui lui appartenait.

L'indemnité annuelle a été fixée à 38 000 francs pour toute la durée du séquestre. Je n'ai fait figurer dans le compte d'exploitation que les frais d'entretien de ce matériel. Le capital, dont la location traduit la valeur, fait par-

tie du compte de construction au même titre que la voie et ses dépendances.

4° Un traité d'échange de matériel existe entre les compagnies du Midi et de Prades. Moyennant une redevance fixe par jour, chacune d'elles a le droit de faire circuler sur son réseau des wagons de l'autre compagnie et de lui en louer.

A l'époque de la guerre (1870-1871), où il y avait partout pénurie d'appareils de transport, les wagons de la compagnie de Prades ont été constamment en location par le Midi, et ont produit de ce chef une recette très-élevée. L'inverse a été amené par l'augmentation du trafic sur la ligne de Prades, et le séquestre supporte aujourd'hui une charge fort lourde sous le titre de frais de location à la compagnie du Midi. La dépense pour ce chef s'élèvera cette année (1875) à près de 20 000 francs. C'est un chiffre bien élevé et qui aurait complétement disparu des comptes, si l'administration du séquestre avait pu acheter pour 100 000 francs de matériel.

Je me crois autorisé à dire qu'il est bien préférable pour une petite compagnie d'avoir son matériel propre, et de ne pas être obligée de recourir aux bons offices de ses voisins.

Quoi qu'il en soit, dans les tableaux qui suivent, j'ai fait figurer la location en dépense ou en recette, suivant que le solde annuel est au débit ou au crédit du chemin de fer de Prades.

Le tableau final que je présente permettra de se rendre compte de l'influence que cet article exerce sur le compte général de l'exploitation.

Pour l'année 1875 qui n'est pas terminée, j'ai basé les calculs de l'année entière sur les résultats constatés dans les neuf premiers mois de l'année.

ANNÉE 1869.

DÉPENSES D'EXPLOITATION.

		francs.
Direction. — Service central.		13 695,23
Exploitation. — Trains et stations de la ligne.	26 057,23	35 168,29
Exploitation. — Gare commune de Perpignan.	9 111,06	
Matériel et traction.		29 301,39
Voie et bâtiments.		21 081,81
Total.		99 246,72

Soit par kilomètre et par an : 4 315 francs.

PRODUIT DES RECETTES.

	francs.
Produit de la grande vitesse.	109 470.29
Produit de la petite vitesse.	45 638,78
Total.	155 109,07
A déduire, Impôt sur la grande vitesse.	11 736,74
Recette nette (impôt déduit).	143 372,33
Bénéfice sur la location du matériel à la compagnie du Midi.	11 020.21
Total des recettes.	154 392,54

Soit par kilomètre et par an : 6 712f,54.

Le rapport de la dépense à la recette est donc de 64 p. 100.

ANNÉE 1870.

DÉPENSES D'EXPLOITATION.

		francs.
Direction. — Service central.		17 708,82
Exploitation. — Trains et stations de la ligne.	25 388,41	34 627,17
Exploitation. — Gare commune de Perpignan.	9 238,76	
Matériel et traction.		35 485,03
Voie et bâtiments.		39 199,64
Total.		127 020,66

Soit par kilomètre et par an : 4 704 francs.

PRODUIT DES RECETTES.

	francs.
Produit de la grande vitesse.	121 146,51
Produit de la petite vitesse.	56 922,95
Total.	178 069,46
A déduire, Impôt sur la grande vitesse.	12 980,00
Recette nette (impôt déduit).	165 089,46
Bénéfice sur la location du matériel de la compagnie du Midi.	8 690,00
Total des recettes.	[illegible]

DÉPENSES D'EXPLOITATION.

		francs.
Direction. — Service central		16 782,12
Exploitation. Trains et stations de la ligne.	29.105,10	38 869,15
Exploitation. Gare commune de Perpignan.	9.764,05	
Matériel et traction		27 310,84
Voie et bâtiments		26 526,30
Total		109 488,41

Soit par kilomètre et par an : 4 425 francs.

PRODUIT DES RECETTES.

	francs.
Produit de la grande vitesse	124 380,07
Produit de la petite vitesse	48 078,12
Total	172 458,19
A déduire. Impôt sur la grande vitesse	15 490,61
Recette nette (impôt déduit)	156 967,58
Bénéfice sur la location du matériel à la comp. du Midi	19 292,61
Total des recettes	176 260,19

Soit par kilomètre et par an : 6 528 francs.

Le rapport de la dépense à la recette est donc de 67 p. 100.

ANNÉE 1872.

DÉPENSES D'EXPLOITATION.

		francs.
Direction. — Service central		18 289,20
Exploitation. Trains et stations de la ligne.	29.330,16	40 726,60
Exploitation. Gare commune de Perpignan.	11.396,44	
Matériel et traction		40 085,77
Voie et bâtiments		42 490,42
Total		14 1591,99

Soit par kilomètre et par an : 5 244 francs.

PRODUIT DES RECETTES.

	francs.
Produit de la grande vitesse	148 980,63
Produit de la petite vitesse	96 644,61
Total	245 625,24
A déduire. Impôt sur la grande vitesse	25 659,78
Recette nette (impôt déduit)	219 965,46
Bénéfice sur la location du matériel à la comp. du Midi	5 116,00
Total des recettes	225 081,46

Soit par kilomètre et par an : 8 336 francs.

Le rapport de la dépense à la recette est donc de 63 p. 100.

ANNÉE 1873.

DÉPENSES DE L'EXPLOITATION.		francs.
Direction. — Service central.		18 879,82
Exploitation. — Trains et stations de la ligne.	36 804,75	50 617,73
Exploitation. — Gare commune de Perpignan.	13 812,98	
Matériel et traction.		44 547,06
Voie et bâtiments.		60 973,90
Frais de location de matériel du Midi.		1 063,71
Total.		176 082,22

Soit par kilomètre et par an : 6 521 francs.

PRODUIT DES RECETTES.	francs.
Produit de la grande vitesse.	165 297,72
Produit de la petite vitesse.	157 713,38
Total.	323 011,10
A déduire. Impôt sur la grande vitesse.	28 850,10
Recette nette.	294 161,00
Produit du domaine.	725,13
Total des recettes.	294 886,13

Soit par kilomètre et par an : 10 921 francs.

Le rapport de la dépense à la recette est donc de 59,7 p. 100, soit 60 p. 100.

ANNÉE 1874.

DÉPENSES DE L'EXPLOITATION.		francs.
Direction. — Service central.		19 078,54
Exploitation. — Trains et stations de la ligne.	41 101,66	61 755,67
Exploitation. — Gare commune de Perpignan.	20 654,01	
Matériel et traction.		50 306,62
Voie et bâtiments.		71 051,72
Frais de location de matériel du Midi.		7 920,86
Total.		210 113,41

PRODUIT DES RECETTES.	francs.
Produit de la grande vitesse.	188 810,50
Produit de la petite vitesse.	212 414,78
Total.	401 225,28
A déduire. Impôts grande et petite vitesse et détaxes.	42 133,63
Recette nette (impôts déduits).	359 091,65
Produit du domaine.	472,50

DÉPENSES DE L'EXPLOITATION.

		francs.
Direction. — Service central		14 921,52
Exploitation. Trains et stations de la ligne.	30 226,43	48 651,57
Exploitation. Gare commune de Perpignan.	18 425,14	
Matériel et traction		46 237,00
Voie et bâtiments		50 730,68
Frais de location de matériel au Midi		13 147,39
Total		173 688,25
Qui donnerait par kilomètre et par an		8 317,00

PRODUIT DU TRAFIC.

	francs.
Produit de la grande vitesse	153 189,85
Produit de la petite vitesse	185 545,70
Total	338 735,55
A déduire. Impôts et détaxes	36 228,02
Recette nette	302 507,53
Produit du domaine	536,75
Total	303 044,28
Ce qui donnerait par an et par kilomètre	14 965,00

Le rapport de la dépense à la recette est donc de 55 p. 100.

TABLEAU RÉCAPITULATIF.

ANNÉES.	DÉPENSE par kilomètre.	RECETTE par kilomètre.	RAPPORT de la dépense à la recette.	RAPPORT de la dépense à la recette en ne tenant pas compte de la location du matériel.
	francs.	francs.		
1869	4 315	6 712,72	0,64	0,69
1870	4 704	6 436,28	0,73	0,76
1871	4 425	6 528,00	0,67	0,76 (1)
1872	5 244	8 336,00	0,63	0,64
1873	6 521	10 921,00	0,60	0,60
1874	7 782	13 317,00	0,58	0,56
1875	8 317	14 965,00	0,55	0,51

(1) Pendant cette année (1871) le trafic a été très-faible à cause de la guerre et des événements qui l'ont suivie ; la différence considérable qui existe entre ces deux chiffres **0,67** et **0,76**, provient de ce que, pendant cette année, les wagons du chemin de fer de Prades ont constamment circulé sur les réseaux étrangers pour le service de l'armée et du ravitaillement de Paris. Par suite, ils ont rapporté une forte recette comme location — Pendant l'année courante (1875) le contraire a eu lieu, et c'est ainsi que la proportion des dépenses aux recettes a été portée de 51 à 55 p. 100.

Perpignan, le 15 novembre 1875.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Mars 1876.

N° 17

EXPOSITION UNIVERSELLE DE PHILADELPHIE.

Un accueil spécial est réservé aux ingénieurs des mines et aux métallurgistes étrangers qui se rendront à Philadelphie en 1876. Un comité s'est constitué à cet effet par les soins de la Société américaine (*American Institute*) des ingénieurs des mines; il est composé de Eckley, B. Coxe Esq., J. S. Alexander Esq., Dr Thomas Egleston et Dr R. U. Raymond. M. Egleston, qui est (comme M. Coxe) un ancien élève externe de l'École des mines de Paris, a écrit le 22 janvier à M. de Boureuille, secrétaire général du ministère des Travaux publics, pour faire connaître quelques-unes des dispositions déjà prises par le comité.

Du 1er avril au 1er décembre, les personnes qui auront été présentées à la Société ou à l'un de ses membres seront admises, munies d'une carte, dans un local qui vient d'être retenu, rue Girard, n° 1123, à Philadelphie. Le comité y sera représenté par un secrétaire et des employés. On trouvera là des salons pour la conversation et la correspondance, toutes les publications techniques, un registre contenant les adresses des membres de la Société, ainsi que celles des ingénieurs ou métallurgistes qui visiteront l'Exposition.

Les hôtes de la Société pourront assister à ses réunions et y prendre part. L'assemblée générale, qui se tient ordinairement au mois de mai, est remise pour cette année au mois de juin.

Le comité communiquera une liste de renseignements sur les

principales industries américaines qui se rattachent aux mines à la métallurgie. Pour les étrangers qui ne pourraient faire Amérique qu'un séjour limité, on réunira les objets qu'ils auraie un intérêt spécial à étudier. Les autres recevront des lettres d'i troduction pour les établissements qu'ils voudraient visiter et po les hommes spéciaux avec lesquels ils voudraient se mettre en lation.

Enfin le comité se chargera de garder provisoirement en lieu s le bagage de ses hôtes, les échantillons recueillis et les paqu d'objets collectionnés par eux.

Il serait superflu de faire ressortir le caractère pratique de ce hospitalité, si conforme aux traditions des ingénieurs américai

E. M.

N° 18

LES WAGONS-LITS DU COLONEL MANN.

La question de l'introduction des wagons-salons et des wago lits dans les trains, bien que présentant des difficultés réell paraît avoir avancé en Europe dans ces derniers temps. C'est ai que la compagnie du Midland Railway, en Angleterre, adopt pour certains trains, dès la fin de 1873, les wagons de la « Pullm Palace car Company (*) », et que, sur le continent, douze lig diverses possédaient, au mois de juin 1875, 51 wagons-lits du sy tème du colonel Mann. D'après les renseignements fournis p l'*Engineering*, ces wagons présentent, dès l'abord, une différe capitale avec les « Pullman cars ». Ils sont, en effet, divisés compartiments distincts pouvant recevoir chacun deux ou quat voyageurs, tandis que les derniers présentent une communicati centrale qui règne dans toute la longueur du wagon. Voici, reste, la description sommaire d'un wagon Mann :

Le wagon a 9^m,15 de longueur, 2^m,75 de largeur extérieureme et 2^m,55 à l'intérieur ; il a une hauteur de 2^m,45 sur l'axe ; il pè en y comprenant le poids d'une tonne d'eau qu'il porte, 14 tonne Il paraît que dans les derniers modèles, ce poids a été réduit 11 tonnes environ. Le wagon repose sur six roues et est porté p

---

(*) Voir, au sujet de ces wagons, le rapport de M. l'ingénieur en chef Ma lézieux sur les *Travaux publics d'Amérique en 1870*, page 147.

un châssis : 16 ressorts cylindriques en caoutchouc sont interposés entre la caisse du wagon et le châssis, et portés par des supports boulonnés sur les côtés de ce dernier. Les ressorts de suspension sont reliés au châssis par des chaînons, de manière à donner du jeu à celui-ci et, de plus, les boîtes à graisse ont un jeu de $0^m,05$ entre les plaques de garde. Il résulte de ces dispositions une grande stabilité du wagon, même lorsque la vitesse est très-grande, ce qui est un avantage, particulièrement lorsqu'il s'agit de wagons-lits.

Le wagon peut contenir 12 voyageurs ; il renferme, aux extrémités, 2 compartiments contenant chacun 4 siéges ou lits, et à la partie centrale 2 compartiments destinés chacun à 2 voyageurs seulement. Entre ces deux derniers compartiments se trouve un passage transversal de $0^m,71$ de large qui communique, à ses deux extrémités, avec une galerie de même largeur régnant dans toute la longueur du wagon, mais moitié d'un côté et moitié de l'autre. Aux extrémités sont respectivement un water-closet et un cabinet de toilette pour hommes, au milieu un cabinet de toilette pour les dames, et la chambre du domestique (steward) qui est affecté au service du wagon. Dans les plus grands compartiments se trouvent une banquette placée transversalement dans la largeur du wagon et deux autres siéges plus petits placés longitudinalement en face l'un de l'autre. La banquette peut se transformer en lit pour la nuit, et les deux siéges constituent un second lit. Deux autres lits qui, pendant le jour, sont renfermés dans l'épaisseur des cloisons, viennent pendant la nuit se placer au-dessus des premiers, et sont suspendus par des cordes en fil d'acier.

La ventilation est assurée par des prises d'air réservées, tant sur le toit que sur la galerie extérieure ; il y a deux châssis à chaque fenêtre. Le châssis intérieur est vitré ; l'extérieur, vitré pendant l'hiver, est remplacé en été par une persienne. Le wagon est chauffé par une circulation d'eau chaude : les tuyaux de conduite sont situés sous le plancher ; ils sont recouverts d'une plaque métallique à jour, qui permet à l'air, qui s'est échauffé au contact des tuyaux, de s'élever dans le wagon. Le foyer est placé sous le châssis et consiste en une petite grille entourée d'un serpentin, le tout étant enfermé dans une enceinte métallique ; la circulation de l'eau est continue, et l'on peut facilement régler et maintenir une température convenable. Enfin, au sommet du wagon se trouvent deux réservoirs d'eau dont l'un est maintenu à une température suffisante pour être employée dans le cabinet de toilette.

LA VOITURE A VAPEUR DE M. BOLLÉE, DU MANS.

Note présentée à l'Académie des Sciences par M. Tresca (2 novembre 1875).

Cette voiture, destinée à circuler sur les routes et qui est venue à Paris il y a quelque temps, pèse 4.000 kilogrammes ; elle peut porter 12 voyageurs et son poids s'élève alors à 4.800 kilogrammes ; ce poids est porté, savoir : 3.500 kilogrammes sur les deux roues motrices de $1^m,18$ de diamètre et de $0^m,12$ de largueur de jante, et 1.300 kilogrammes sur les deux roues d'avant-train de $0^m,95$ de diamètre. Chaque roue est comprise entre deux paires de ressorts, aussi rapprochés que possible du moyeu de manière à diminuer la portée de la charge sur l'essieu, réduit ainsi à de plus petites dimensions. Les deux roues motrices sont folles sur l'essieu d'arrière ; chacune d'elles est mue séparément par un groupe de deux cylindres à vapeur dont les tiges de piston commandent un arbre relié à la roue motrice par un engrenage et une chaîne sans fin. Les deux roues d'avant, entièrement indépendantes, sont portées chacune par une cheville ouvrière distincte. L'appareil de manœuvre, qu'il serait difficile de faire bien comprendre par une description sommaire, est tel que les deux roues prennent chacune séparément, lorsqu'il s'agit de tourner très-court, une direction perpendiculaire à la ligne qui joindrait son point de contact avec le sol au centre autour duquel le conducteur voudrait opérer la rotation de tout le système. Cette indépendance des quatre roues et surtout cette propriété de l'avant-train assurent à ce véhicule une grande facilité d'évolution.

La chaudière est à l'arrière, confiée à un chauffeur qui assure l'alimentation à l'aide d'un giffard ou d'une pompe, soit en puisant de l'eau dans le tender, soit dans les ruisseaux pendant les arrêts nécessités tous les 10 kilomètres pour le remplissage du tender. Les cylindres sont placés entre les roues motrices. A l'avant du véhicule s'assied le conducteur à la disposition duquel sont tous les organes de commande : réglage de l'admission, coulisse de Stephenson, gouvernail des roues d'avant, manomètre. Le conducteur peut aussi, suivant les conditions de la route, faire succéder la transmission lente à la transmission rapide ou inversement.

Il paraît résulter des expériences faites que cette machine parcourt 20 kilomètres par heure en plaine, 12 à 15 sur les voies fréquentées ; elle maintient une vitesse de 9 kilomètres sur des rampes de $0^m,05$ par mètre et elle peut y remorquer une voiture d'un poids égal au sien. Elle n'évolue pas aussi facilement qu'un

fiacre, mais plus facilement qu'un omnibus. Les chevaux, à Paris, ont rarement manifesté de l'inquiétude au passage de cette voiture.

La chaudière à vapeur, sur laquelle il ne semble pas nécessaire de donner des renseignements très-circonstanciés, est une chaudière verticale du système Field.

RUPTURE D'UNE DIGUE DE RÉSERVOIR.

Le 16 mai 1874, la digue d'un réservoir situé à Williamsburg (Massachusetts) sur la rivière Mill se rompait entre 7 et 8 heures du matin et l'eau s'écoulant avec une vitesse considérable (le débit s'élevait environ à 2.000^{mc} par seconde), produisait des désastres considérables : 143 personnes perdaient la vie et les dégâts matériels ont été évalués à 500.000 francs. Nous trouvons dans les « Transactions of the American Society of civil Engineers » les renseignements suivants sur cette digue et sur les causes probables de l'accident.

Le réservoir avait pour but d'assurer, pendant la saison sèche, une quantité d'eau suffisante aux industries assez nombreuses qui sont établies à Williamsburg sur le cours de la rivière Mill : sa surface était de 45 hectares environ avec une profondeur moyenne de 6^m,10. La digue qui avait été construite en 1865 avait 160 mètres de longueur environ, sa hauteur maxima était de 13^m,10; au moment de l'accident, l'eau était environ à 1^m,20 au-dessous du sommet de la digue : quelque temps auparavant le niveau avait été plus élevé de 0^m,30. Un déversoir de superficie existait à l'une des extrémités de la digue et un tuyau de décharge de 0^m,40 de diamètre placé au point le plus bas donnait écoulement aux eaux pour le service des usines.

La digue consistait en une levée de terre au centre de laquelle régnait un mur dans toute sa longueur. Le mur, fondé à 0^m,90 au-dessous du sol, s'élevait à 12^m,80 au-dessous du niveau primitif de l'eau; il avait 0^m,60 de largeur au sommet et 1^m,75 à la base ; le projet portait que jusqu'à 3 mètres du sommet on emploierait un mortier composé de sable et de la meilleure chaux hydraulique, mais que, au-dessus, le mortier ne contiendrait qu'un mélange de 75 parties de chaux hydraulique et de 25 de chaux ordinaire. Il ne semble pas du reste, d'après les renseignements recueillis, que les travaux aient été exécutés avec beaucoup de soin ; il en est de

même du remblai en terre sur lequel on semblait avoir compté pour empêcher l'eau d'atteindre la base du mur ; les talus étaient bien roides et il eût été utile d'adoucir les pentes ; enfin l'épaisseur de la terre au-dessus du mur était insuffisante pour garantir la maçonnerie de l'action de la gelée : dans ce climat il eût fallu au moins $1^{m},50$ de terre.

On ne put déterminer exactement la cause qui amena la rupture de la digue ; mais il paraît résulter des informations prises que l'eau s'infiltra sous le mur, passant entre le sol et la première assise ; le remblai d'aval fut désagrégé sur une certaine étendue par le courant qui se produisit, et le mur n'étant plus soutenu céda à la pression en donnant naissance à une brèche qui s'élargit rapidement sous l'action du courant qui se manifesta. Ce fâcheux résultat est dû à une action lente et prolongée plutôt qu'à la grandeur de la pression, puisque peu de temps auparavant le niveau avait été plus élevé que lors de la rupture de la digue. Un peu avant ce désastre, l'homme chargé de la garde de l'ouvrage s'était aperçu de l'existence d'une crevasse dans le remblai d'aval ; il s'empressa de donner écoulement à l'eau du réservoir ; mais, pendant ce temps, la crevasse s'élargit et une demi-heure après la brèche était complète.

Ainsi, la digue, mal construite par un entrepreneur sans connaissances suffisantes et dont les travaux n'étaient pas contrôlés, coûta 160.000 francs environ c'est-à-dire environ le double de ce qui était nécessaire sans compter les dégâts causés par l'accident qui amena sa destruction.

NOUVEAU SYSTÈME DE PONT MOBILE.

Les « *Transactions of the American Society of civil Engineers* » contiennent une note sur un *pont-levis* établi sur un canal de l'Érié à Utique, dans l'État de New-York. Les communications d'une rive à l'autre avaient lieu jusqu'en 1871 par des passerelles auxquelles on accédait par des escaliers : on résolut à cette époque d'établir un passage au niveau des quais ; mais la faible largeur du canal, 18 mètres environ, ne permettait pas l'établissement d'une pile centrale pour supporter un pont tournant, et d'autre part on ne pouvait disposer d'un espace suffisant sur les quais pour trouver la place des chambres qui eussent été nécessaires pour les systèmes ordinairement employés. Dans ces conditions M. Whipple imagina le système suivant qui, construit pendant l'hiver 1873-1874, fonctionne depuis cette époque.

Le pont comprend une partie fixe et une partie mobile : la partie fixe consiste en deux poutres analogues à celles employées dans les ponts métalliques américains (truss-bridges); chacune d'elles traverse le canal et les chemins de halage adjacents et est supportée à ses extrémités par des piles suffisamment élevées pour que le passage par-dessous soit possible tant sur ces chemins de halage que sur le canal. Ces deux poutres sont d'ailleurs réunies l'une à l'autre par des contrevents. La partie mobile est constituée par une plate-forme s'étendant d'un bord à l'autre du canal et supportée par des tiges qui sont reliées à des câbles d'acier; ces derniers passent sur des poulies fixées sur les poutres fixes et supportent d'autre part des contre-poids qui font presque équilibre au poids du tablier. On conçoit qu'en faisant descendre ou monter ces contre-poids, on fait monter ou descendre le tablier mobile que l'on peut amener ainsi soit au niveau des poutres fixes, ce qui rend libre le débouché du canal, soit au niveau des quais, ce qui permet le passage des piétons et des voitures.

A la partie supérieure de chaque poutre fixe et au droit de chacune des bielles verticales qu'elle comprend se trouve un tambour sur lequel s'enroule l'une des chaines qui supportent le tablier mobile ; les divers tambours d'un même côté sont montés sur un même arbre et, par l'intermédiaire d'un arbre transversal relié à chacun des précédents par des roues d'angle, les tambours des deux côtés sont rendus solidaires dans leurs mouvements, ce qui assure une régularité absolue dans la montée et la descente.

La plate-forme mobile de 18^m,30 de longueur et de 5^m,50 de largeur pèse environ 10 tonnes; en comprenant les contre-poids, il faut donc mouvoir environ 20 tonnes à élever à 3^m,50 environ. Un homme n'eût pu produire le travail mécanique correspondant qu'en 2 ou 3 minutes; le double mouvement de montée et de descente eût donc exigé environ 4 à 5 minutes, ce qui eût été inadmissible, car il passe un bateau sur le canal en 10 ou 15 minutes en moyenne. On se décida à relier aux arbres de rotation, par l'intermédiaire des roues à rochet, deux poids assez considérables qui sont soulevés à bras d'homme dans l'intervalle de deux opérations au moyen d'un tambour spécial et dont l'action s'ajoute à celle des contre-poids pour accélérer l'ascension ou la descente du tablier mobile, le mouvement étant régularisé, d'ailleurs, à l'aide de freins; la durée des déplacements fut alors réduite à 10 secondes, celle de l'élévation des contre-poids moteurs n'atteint pas une minute; le mouvement est doux et il ne se produit pas de chocs par l'emploi convenable des freins.

APPAREIL ÉLÉVATOIRE POUR LES BATEAUX.

Le journal l'*Engineering* donne les renseignements suivants sur un appareil destiné à faire passer un bateau dans un canal d'un niveau à un autre et qui a été récemment inauguré.

Le canal de Trent et Mersey, à Anderton se trouve à une petite distance de la rivière Weaver, mais à une hauteur de 15 mètres au-dessus environ. Il existe un mouvement considérable de marchandises des districts produisant le fer et les poteries à Liverpool et ces marchandises, transportées par eau, devaient subir à Anderton un transbordement que l'appareil que nous allons décrire permettra d'éviter à l'avenir en abaissant jusqu'au niveau de la Weaver les bateaux qui circulent sur le canal et en élevant jusqu'au canal les bateaux arrivant par la rivière. Pour arriver à ce résultat, on établit en communication avec le canal deux grands caissons en fonte, placés à côté l'un de l'autre, ayant même section que le canal et dont la longueur est égale à celle des plus grands bateaux qui circulent sur ces voies navigables; ces pontons, qui peuvent être fermés à leurs extrémités, reçoivent de puissantes machines hydrauliques placées à côté un mouvement d'ascension et de descente, de telle sorte que l'un descend lorsque l'autre monte. Ces caissons qui fonctionnent ainsi comme des écluses mobiles, lorsqu'ils ont atteint leur position inférieure, peuvent être mis en communication avec la rivière. On conçoit dès lors facilement que l'on arrive à faire passer les bateaux de celle-ci dans le canal ou inversement. La difficulté d'obtenir des joints étanches tant pour la fermeture des caissons et du canal que pour le raccordement de celui-ci avec chaque caisson alternativement paraît avoir été résolue d'une manière satisfaisante.

Le temps employé à la manœuvre de ces caissons est seulement de trois minutes. Cet appareil a été construit sur les projets et sous la direction de M. E. Leader Williams.

GRUE FLOTTANTE.

Les *Annales* ont donné (*) la description d'une grue flottante construite pour les travaux des quais de New-York; il résulte des

(*) *Ann.* 1874, 1er sem., p. 204.

ocuments présentés à la Société des ingénieurs civils des États-
nis et que nous trouvons dans les « *Transactions* » de cette So-
iété que, en dix-huit jours, cette grue a permis de poser, dans
ᵐ,50 d'eau :

				tonnes.
28 blocs	de	50	tonnes pesant......	1.400
27	—	30	—	810
54	—	25	—	1.350
			Soit un total de......	3.560

En une journée de 10 heures elle a transporté jusqu'à 14 blocs
le 50 ou 25 tonnes. Le prix du transport, de la charge et de la
ose a été d'environ 200 francs par mètre cube tout compris,
ême l'intérêt du prix de la grue et l'amortissement. (En y com-
renant le prix des matériaux, le prix a été d'environ 2.950 francs
ar mètre cube.)

C. M. G.

N° 19

ÉTUDE
SUR
LA BAIE DE SAINT-JEAN-DE-LUZ

Par M. BOUQUET DE LA GRYE, ingénieur hydrographe de la marine.

CHAPITRE PREMIER.

ACTIONS EXTÉRIEURES.

Vents. — Lames. — Courants généraux. — Marées.

La baie de Saint-Jean-de-Luz a été, jusque dans ces dernières années, l'objet de bien des mémoires, a suscité beaucoup de projets.

Ranimer le mouvement commercial qui avait fait de cette ville un port de premier ordre, des Basques les plus aventureux de nos navigateurs du XVIe siècle, fut la préoccupation aussi bien des ministres de Louis XIV que de ceux de Louis XVI. Malheureusement la science des constructions à la mer étant au XVIIIe siècle encore dans l'enfance, les difficultés devenaient pour nos pères presque insurmontables lorsqu'il fallait lutter contre les forces si redoutables dont dispose l'Océan. Aussi l'étude des essais d'amélioration de la baie ou des travaux de défense de la ville de Saint-Jean-de-Luz, montre-t-elle une série d'échecs, la mer ayant démoli successivement tout ce qui avait été élevé sur les rochers des pointes ou fondé sur le sable de la plage.

Il appartenait aux ingénieurs actuels de recommencer une dernière fois la lutte, mais en s'appuyant à chaque pas

sur l'expérience acquise et sur la notion plus exacte des lois du mouvement des eaux et des sables. Le travail conçu dans cet esprit est aujourd'hui en pleine activité, l'achèvement des digues du large, mené ausi sagement que scientifiquement, se poursuit sans arrêt; il ne dépend plus des caprices de la mer. Aussi faut-il en prévoir, dès à présent, les conséquences, et les levés qui ont été faits dans ces dernières années nous ont semblé devoir être interrogés pour y chercher la clef de cet avenir qui intéresse à un haut degré la population du sud-ouest de la France.

On peut, d'ailleurs, reprendre ici, d'après les anciens documents, cette question d'érosion que nous avions déjà traitée en 1866, mais en la faisant ressortir plus nettement encore de tous les matériaux qu'ont pu nous fournir nos archives. Cette étude du passé éclairera d'un jour nouveau les faits, presque contradictoires, qui ont été relevés plusieurs fois, et elle donnera la mesure de la circonspection qui doit accompagner tout projet de travaux à la mer.

Avant d'analyser les levés de Saint-Jean-de-Luz, il nous semble utile de dire d'abord quelques mots des forces qui agissent sur la côte, au fond du golfe de Gascogne.

Situation de Saint-Jean-de-Luz. — La baie de Saint-Jean, qui se trouve presque au sommet de l'angle adouci formant le fond du golfe, est, par cela même, placée à l'extrémité d'un entonnoir où toutes les pulsations de la mer du large viennent aboutir, soit directement, soit par réflexion.

Le soulèvement des Pyrénées n'a pas agi seulement sur le relief au-dessus des eaux, mais aussi sur le fond de la mer, en redressant les couches géologiques, de telle sorte qu'en aucun autre point de la côte, on ne voit les grands fonds approcher autant de la terre.

D'un autre côté, le relief terrestre a aussi modifié les conditions météorologiques de toute cette zone. La mer, sous cette influence multiple de la forme de la côte, du

relief sous-marin et du relief terrestre, a acquis des propriétés spéciales.

Lames. — Nous avons dit (*) que toutes les pulsations de la mer, dont les plus lointaines peuvent partir de l'extrémité nord de l'Atlantique, venaient se faire sentir à Saint-Jean-de-Luz sous forme de lames de fond. Ces lames ayant une hauteur de 60 centimètres et quelquefois 1 ou 2 kilomètres de longueur, peuvent franchir des espaces énormes sans presque perdre de leur hauteur et de leur vitesse, tant le frottement est faible dans les grands fonds. Elles représentent la force du vent d'une région lointaine condensée et se propageant sous une forme qui la rend peu sensible à l'action d'un vent modéré même contraire. Les conditions de Saint-Jean-de-Luz sont telles, que ces lames y trouvent généralement l'atmosphère assez calme pour leur permettre de reprendre une partie de leurs premières propriétés dans les quelques milles qui séparent la baie des grands fonds.

Saint-Jean-de-Luz est l'oreille de la côte ouest, avons-nous dit souvent en écoutant le bruit des lames qui se brisaient sur la plage. Cette disposition, qui justifie l'établissement d'un marégraphe, augmente dans une proportion notable l'action produite par les coups de vent locaux. Ils réunissent en effet à la puissance des lames de vent celle des lames de fond, ajoutant aux premières la force du vent mise en jeu à de grandes distances.

Les lames qui agissent dans la baie de Saint-Jean-de-Luz ont une direction comprise entre l'O.-S.-O. et le N.-N.-O. Lorsqu'au cap Finistère la houle vient du S.-O., les vents soufflent du sud dans le fond du golfe, ne laissant se propager le long de la côte qu'une longue ondulation de très-faible hauteur; parfois on a même dans ce cas un calme complet à la mer : la barre de Bayonne est plate.

Lorsque les vents tournent à l'O.-S.-O. la mer grossit rapi-

(*) Pilote de la côte ouest de France.

dement, mais c'est de l'ouest et de l'O.-N.-O. que viennent les amplitudes maxima.

En tempête de l'ouest, les lames atteignent au large des hauteurs de 7 mètres et cette hauteur, à laquelle correspond une longueur d'ondulation comprise entre 120 et 180 mètres, diminue peu par le frottement que font subir à son pied des fonds compris entre 40 et 80 mètres.

La vitesse de propagation est seule alors fortement influencée par la diminution du brassiage, ce qui rapproche les sommets des lames en leur donnant une forme plus accusée.

Le haut fond de Belhara-Perdun ($14^m,30$), quoique conservant sur son sommet plus du double de la hauteur de la lame, détermine, en raison de la rapidité de sa pente du côté du large, un premier brisement complet, et comme l'orientation des roches qui composent ce haut fond est celle même de la côte, les brisants, par suite de cette orientation, se redressent au S.-E. et courent jusqu'à terre, en ne laissant, malgré la profondeur, aucun passage praticable pour les navires (*).

Plus au nord, cette même lame de 7 mètres, qui a commencé à éprouver un premier changement de forme en traversant par 60 mètres les premiers accidents du plateau de Saint-Jean-de-Luz (changement que les capitaines connaissent et redoutent), brise aussi sur Ilharguita par 22 mètres; ce brisant toutefois est moins complet que celui qui se fait sur Belhara, et comme les fonds sont considérables en arrière, la lame qui a entouré Ilharguita se re-

(*) Belhara-Perdun brise déjà avec une houle de 4 mètres de hauteur; les brisans ne sont pas en effet déterminés uniquement par le rapport de la lame au brassiage, rapport qui est l'unité sur une plage unie, ainsi que l'ont démontré les expériences de M. Bazin et l'ont aussi souvent constaté les marins; mais il est fonction de la déclivité même du fond, de l'amptitude et de la vitesse de la lame. C'est ainsi qu'on peut avoir des brisants par 40 mètres et 60 mètres.

forme sans avoir perdu beaucoup de sa hauteur. Si le passage à terre de Belhara est souvent rendu infranchissable à cause de la vitesse acquise par la partie supérieure des lames brisées (vitesse telle qu'elle pourrait faire raser ou chavirer un navire), celui entre Ilharguita et Belhara n'offre pas de dangers.

En s'approchant de la baie, la lame éprouve encore une autre modification. A la rencontre de la partie est du plateau de Mabessin, elle brise à blanc sur une longueur de 250 mètres, par des fonds compris entre 11 et 15 mètres à marée basse; mais l'ondulation est loin d'être encore anéantie, car elle se présente immédiatement après devant la baie avec une hauteur de 6 mètres.

Sa vitesse est à ce moment de 15 mètres par seconde, son amplitude est de 150 mètres et sa largeur atteint celle de la baie.

Indépendamment des grandes lames à crêtes aiguës dont nous venons de parler, on remarque souvent aussi cette longue houle de fond dont nous avons parlé, qui vient s'interférer avec la première et dont la période est de plusieurs minutes. C'est un véritable raz de marée (autrefois il arrachait les navires du port de Socoa en brisant leurs amarres). Ces espèces d'ondulations, qui ne sont pas appréciables à la mer, car leur hauteur est minime, ont pourtant une grande action sur la côte, leur vitesse étant considérable et la masse d'eau mise en mouvement égalant celle des plus grandes lames de vent.

Arrivons maintenant aux effets produits par ces lames simples ou composées.

Au Socoa, elles brisent à blanc sur les Criquas par les profondeurs de 8 mètres et les lames dérivées, arrivant normalement aux lignes de profondeur, déferlent successivement sur les fonds de plus en plus petits, de façon à couvrir d'écume tout le plateau.

Avant la construction de la grande digue du Socoa, le

coup de mer s'étendait sur les rochers intérieurs des criques; une partie de la force vive de la lame se transformait alors en vitesse et l'on avait un courant qui passait devant le port du Socoa et suivait la plage de l'Untzin en maintenant son embouchure sous Bordagain.

Depuis la construction de la digue cet effet a cessé : les Criquas de l'intérieur sont à demi protégés malgré leur petit brassiage, l'agitation directe n'est plus exercée que par les paquets de mer qui franchissent la digue et par les fusées d'eau lancées quelquefois à 20 mètres en l'air, toutes causes de propulsion relativement faibles et qui ne produisent pas autant de mouvement que le simple retour de la lame derrière la digue.

Le courant portant au Sud dans l'Ouest de la baie a cessé entièrement et l'on voit souvent, près de la digue, des lames de hauteur moyenne revenir en arrière, après une ascension sur le profil de cette digue en provoquant des interférences régulières et en diagonale avec les lames qui viennent du large. A basse mer, la profondeur de tout cet angle des Criquas étant faible, la mer se trouve partout brisée, et devient blanche comme du lait. Toute sa force est convertie en frottement et en chaleur.

L'effet contre Artha était autrefois analogue à celui que produisait Belhara, la lame faisait le four sur ce rocher, puis le brisant se continuait jusqu'à Sainte-Barbe en barrant entièrement le passage de l'est. Les résultats étaient ici remarquables par la vitesse considérable de projection. A la pointe de Sainte-Barbe, mêmes effets qu'autrefois sur les Criquas, transformation des lames en brisants et formation d'un courant assez vif.

Il est assez difficile d'exprimer en chiffres la force vive dépensée ainsi par chaque lame sur chacun des trois plateaux dont nous venons de parler, force vive donnant des courants, de la chaleur et une certaine usure des matériaux ; mais si l'on considère que la masse mise en mouve-

ment est chaque fois de 600.000 mètres cubes, que la vitesse acquise par la crête des lames au moment où elle se brise peut atteindre les $\frac{7}{10}$ de la vitesse propre à l'onde (*), c'est par millions de kilogrammètres que doit s'exprimer le résultat.

Comme effets immédiats, nous pouvons citer les accidents suivants : en 1808, une corvette anglaise mouillée derrière Artha chavira dans un coup de mer; toutes les digues construites jusque dans ces derniers temps au Socoa ont été successivement emportées; des piliers en béton de 2 mètres de diamètre ont été coupés par le milieu; enfin, dans la digue actuellement en construction, une section du poids de plusieurs milliers de tonnes a reçu un choc assez violent pour l'ébranler en détachant une partie de son parement extérieur.

Ce dernier accident est, du reste, peu sérieux en lui-même; il peut même calmer des inquiétudes, car il est arrivé à la suite d'un coup de vent tellement violent qu'il faut remonter au commencement du siècle pour en trouver l'équivalent; il rend toutefois compte de la difficulté des travaux et aussi de l'intérêt qu'il y a à donner aux navires un abri contre une mer pareille (**).

Cet abri n'a en réalité existé que lorsque les conditions d'étiage de la Nivelle, d'équilibre de la baie étaient tout à fait différentes de ce qu'elles sont depuis deux cents ans. Le Socoa, à entendre les plaintes des marins, a toujours été un port d'échouage où, par gros temps, les navires étaient en péril : un raz de marée pouvait les mettre à sec en les démolissant contre le fond rocheux, un retour de lame les

---

(*) M. de Tessan.

(**) Dans l'assemblée du 12 novembre 1700, les pilotes déclaraient qu'un vaisseau (*sic*) de 36 canons pouvait hiverner dans la rade; mais il fallait prendre des précautions particulières, mettre des barriques sur les câbles, amener les mâts de hune et mouiller une ou deux ancres par l'arrière.

arrachait de leurs amarres en les entraînant au dehors; en somme les plaintes étaient constantes, pendant qu'on réclamait d'autre part, non contre les dangers du mouillage dans la rivière de la Nivelle, mais contre la difficulté ou même l'impossibilité de franchir les sables accumulés devant son embouchure.

Restait le mouillage en pleine baie, souvent usité dans l'attente de circonstances favorables pour entrer dans la rivière; mais nous verrons tout à l'heure que ce mouillage n'était que bien peu protégé par la pointe du Socoa. Le sillon dans lequel on se plaçait était entretenu par le seul ressac de la lame qui venait briser sur les Criquas, si bien qu'en supprimant cette lame et son courant dérivé, le mouillage a entièrement disparu, obstrué qu'il est par quelques centaines de mille mètres cubes de sable (*).

En parlant de cette puissance des lames s'attaquant aux rochers et aux ouvrages, remuant des blocs et des rochers, nous ne devons pas oublier que ses effets principaux consistent dans la trituration de ces matéraux et dans leur transport régulier dans un certain sens. La lame déplace le sable au large à partir des brassages de 80 mètres, elle marque son empreinte sur le sol par les stries qu'elle dessine, aussi profondément que la vue peut s'étendre lorsque la mer est la plus transparente (25 mètres), et c'est par masses que se fait en coup de vent ce mouvement; regardons donc quelles sont ici encore les autres forces en jeu pour essayer de distinguer les conditions d'équilibre qui peuvent coexister avec la formation d'un abri pour les navires, en n'oubliant pas que la mer a rongé jusqu'ici le fond de la baie (**).

(*) Il s'agit en effet, dans la création d'un abri en pareil lieu, non-seulement de produire dans la partie protégée du calme pour les navires, mais aussi d'y favoriser un état d'équilibre leur procurant une profondeur d'eau suffisante.

(**) Si les lames sont une cause de destruction, même pour les

Courant général. — Au large de Saint-Jean-de-Luz et dans tout le golfe de Gascogne, nous avons, à plusieurs reprises, indiqué dans *le Pilote* qu'il y avait un courant général portant de l'ouest à l'est et remontant ensuite au nord.

Ce courant, connu sous le nom de Rennel, a une vi-

---

roches, leur action directe ne s'exerce pas avec une grande intensité; le frottement de l'eau n'use que très-lentement. Il en est autrement lorsque la lame entraîne soit des cailloux, soit même des matières ténues (On s'est servi du sable, il y a quelques années, pour graver le verre.) Seulement cet effet d'érosion ne peut se produire que dans les couloirs ou sur les points où se fait le cheminement général des matériaux. M. Cialdi, dans son ouvrage sur le mouvement des lames, cite, page 192, comme une preuve du contraire, que sous l'effort unique des lames le sommet d'Artha a diminué de $1^m,50$ dans l'espace de 43 ans. Cette affirmation, quoique appuyée sur le témoignage de MM. Duleau et Monnier, ne tient pas contre les résultats des levés de 1826 et de 1864.

En 1789, Brémontier trouve $7^m,80$ sur la plus haute tête d'Artha; en 1826, M. Beautemps-Beaupré n'indique plus que $6^m,50$; puis en 1832, les ponts et chaussées donnent $9^m,30$, M. Lieusson, en 1857, $8^m,10$, tandis que, en 1864, je trouvais à la fois des têtes de roches de 6,50, 7,60, 7,90, etc.

Chacun des explorateurs s'était arrêté après avoir trouvé un seul des saillants de cette roche, très-dentelé.

Les couches qui s'élèvent au-dessus du niveau des basses mers ont la même apparence, et l'on comprend qu'elles puissent rendre la recherche du point le plus élevé très-délicate, surtout lorsque la profondeur de l'eau et la couleur du fond rendent tout confus. Sur Artha, les crêtes ont à peine une largeur suffisante pour maintenir un plomb de sonde en équilibre.

En résumé, comme on ne peut admettre que le sommet indiqué par Brémontier soit devenu, 75 ans plus tard, plus faible de $1^m,30$, c'est-à-dire que le rocher ait grandi, il faut dire que la tête trouvée par lui ne peut être assimilée qu'à celles de 7,60 ou de 7,90 du levé de 1864 et ne rien conclure quant à l'érosion propre des lames en ce point.

On comprend d'ailleurs qu'il en puisse être autrement dans d'autres parages, si les matériaux sont différents, et encore je croirai toujours que l'action la plus réelle provient de chocs, la lame agissant alors comme une presse hydraulique pour détacher des parcelles ou des blocs. Mais ce n'est point là de l'usure directe due à un frottement, comme il était indiqué pour la roche isolée d'Artha.

tesse moyenne assez faible, mais lorsque la mer *sent* les vents d'aval, comme le disent les marins, il file en flot avec une vitesse atteignant 3 nœuds. C'est qu'à sa force propre s'ajoute non-seulement la dérive des lames provenant de leur déformation sous l'influence du fond, mais encore l'impulsion directe du vent. On a ainsi en flot un courant littoral qui engendre dans les baies des remous dirigés dans le sens direct des aiguilles d'une montre.

Pendant le jusant lorsque les vents sont *hauts*, c'est-à-dire lorsqu'ils ont des directions comprises entre le Nord et le Nord-Est, il se produit un renversement de courant se prolongeant au moins une heure après la basse mer et donnant lieu à des tourbillons en *sens inverse* dans les baies. Mais à cause de la prédominence des vents d'Ouest, ces courants inverses sont moins forts que les premiers, ils sont souvent annulés par eux, et les effets généraux correspondent non-seulement au courant de Rennel, mais à ce courant animé d'une certaine vitesse.

La baie de Saint-Jean-de-Luz, comme celle de Fontarabie, n'a donc rien à craindre de l'envahissement du sable des Landes, celui de la côte d'Espagne seul peut lui arriver. Or, la valeur de cette source peut être relativement appréciée.

Les fonds sont assez grands vis-à-vis de Saint-Jean-de-Luz et se composent de roches dans lesquelles se trouvent des poches sableuses. En allant au large, on a encore du sable, mais la profondeur augmente très-rapidement; en allant dans l'ouest, augmentation moins rapide, mais notable encore, puisque avant d'arriver au Port du Passage, pour une même distance de la côte, les fonds doublent de brassiage; or, au Passage il n'y a qu'un transport infiniment faible ou même nul du sable extérieur, quoique les circonstances ne soient pas défavorables pour l'entraînement de ce sable dans la baie et pour son amoncellement sous la forme d'un seuil.

La source du sable, si elle existe, doit donc être plus proche et dépendre au moins autant des apports et des crues de la Bidassoa que d'un cheminement se produisant du Nord-Ouest au Sud-Est et amenant à terre les sables du large.

Mais ces sables de rivière ne représentent qu'un cube limité; le premier effet des coups de vent de l'hiver étant de les refouler dans l'intérieur de la baie de Fontarabie où ils exhaussent constamment le chenal, ce n'est donc que dans des cas rares qu'ils peuvent dépasser la pointe du Tombeau pour continuer ensuite, sous l'influence du courant de Rennel, leur marche dans l'Est.

Quant à la petite portion qui nous paraît pouvoir provenir du large, et qui a contre elle la profondeur et aussi pour celle qui venant de la Bidassoa cheminerait plus facilement, mais n'a qu'un débit limité, une cause spéciale met encore un arrêt à l'écoulement littoral aussi bien qu'à son introduction dans la baie de Saint-Jean, par un coup de vent ordinaire.

Le fond de la mer, autant que nous avons pu en juger par nos sondes et par nos dragages, se compose de lits de roches orientés comme la côte; le sol est disposé en escaliers dont chaque marche offre une inclinaison de 50° à 60°. On peut promener une drague quelques instants dans un sillon sableux en courant parallèlement à la côte, mais dans l'autre sens la drague s'arrête de suite.

Aussi lorsque le sable, soulevé dans les grands fonds par la lame, tend à cheminer sous l'action des courants, ce cheminement ne peut le conduire à la côte. Le sable s'élève bien le long de chacune de ces marches, mais il est ramené en bas en progressant pas à pas dans l'Est et non dans le Sud; une mer démontée peut seule lui faire franchir ces obstacles, mais ce cas est très-rare et la source encore n'est pas infinie, car cette mer a vite épuisé les quantités qui se trouvent dans le voisinage de la baie; cette même mer de

tempête exerce d'ailleurs à Saint-Jean-de-Luz une action spéciale sur laquelle nous reviendrons.

Comme l'état d'équilibre de la baie est toutefois lié, non aux petites actions journalières du transport des sables, mais bien à ce qui se produit en coup de vent (*), nous pouvons résumer ce qui a rapport à l'effet des courants extérieurs, en affirmant que l'on se trouve en présence d'une affluence de sable très-modérée venant du large et d'une source faible venant de la Bidassoa.

(*) Nous reviendrons souvent sur cette question générale d'équilibre qui ne correspond pas à la moyenne des actions, mais bien aux actions maxima, car elle trouve son application pour tous les phènomènes qui se produisent à la mer et dans les fleuves. Ainsi les dunes n'ont pas un relief correspondant à l'état moyen de l'atmosphère, mais bien aux seuls maxima ; la forme des chenaux, des fleuves ne correspond pas aux marées moyennes, mais bien aux marées de vive eau. Enfin le tracé des rivages est déterminé, non par l'amplitude moyenne des vagues, mais par les vagues de coup de vent ordinaire. Ceci pourrait trouver une explication très-simple dans le fait que les matériaux dont il s'agit ne commencent à obéir aux agents de propulsion que sous l'influence d'une puissance déterminée. Une action mille fois répétée au-dessous de ce minimum ne produit absolument aucun effet, quoiqu'elle puisse influencer la moyenne arithmétique annuelle des actions, et au-dessus de ce minimum l'effet produit ne varie pas seulement en raison directe de l'accroissement de la vitesse, mais bieh plus probablement en raison directe du carré de la vitesse. Ainsi, si l'on désigne par mV, $2mV, \ldots\ldots 5mV$ les valeurs croissantes d'une même force appréciée chaque jour, au bout d'un an la moyenne arithmétique est $\frac{mV}{365}[n \sin \varphi + 2n' \sin \varphi' + \ldots\ldots]$, et de l'autre, la moyenne efficace, celle qui détermine seule les modifications, est donnée, en supposant qu'au-dessous de $4V^2$ il n'y ait aucun mouvement, par la formule :

$$\frac{mV^2}{n''' + n''''}[16\, n'''(\sin \varphi''') + 25\, n''''(\sin \varphi'''')].$$

Or, les nombres n''' et n'''' sont très-petits relativement à n, n', n'', ce qui amène à dire que le résultat réel correspond aux états d'équilibre qui se produisent le plus rarement. La généralité de cette loi est d'ailleurs telle que l'on en voit l'application dans les phénomènes sociologiques.

La Nivelle, rivière qui se jette dans la baie même de int-Jean, a une action tout autre au point de vue des terrissements; mais comme nous ne parlons encore que es actions extérieures, nous y reviendrons plus tard. Pour le moment il ne nous reste à dire que quelques mots u vent et des marées considérées au seul point de vue i nous occupe en ce moment, celui du transport des ma-ériaux.

Vents. — Le vent a une action assez faible sur les sables ans la baie de Saint-Jean. Ce n'est pas que la mer ne ejette ces derniers sur la côte, que le soleil n'y soit très-rdent et ne l'y dessèche rapidement, mais les vents ré-nants ou, pour mieux dire, ceux qui ont le plus de force, s vents d'ouest, ne viennent pas de la mer, ils ne soufflent as en grand dans la baie. Or, non-seulement des vents uts, qui ont été obligés de franchir une série de collines, nt peu d'action sur la surface d'un sol bas, mais leur di-ction conduit ici directement sur une petite chaîne de auteurs qui agit comme repoussoir. On a bien dans l'Est de aint-Jean quelques dunes, mais leur hauteur est médiocre; lles sont herbues et dans le Sud, là où l'action pourrait e propager sans obstacle, la vallée étant basse et ouverte, es grains de sable ne cheminent pas parce que les vents de ord et de nord-ouest font entièrement défaut.

Nous avons signalé dans *le Pilote* ce résultat du relief des Pyrénées qui fait que les bâtiments arrivent vent ar-rière avec une bonne brise de Nord-Ouest trouvent sou-vent le calme sur la côte d'Espagne, en même temps qu'une longue houle, ce qui les met dans une situation difficile; à Saint-Jean-de-Luz cet effet protége la ville contre les in-vasions du sable de la grande plage.

La *fig.* 3, Pl. 8, des roses de vent, dressée pour Biarritz, rendra notre explication plus claire. On y voit, en hiver et en automne, les vents souffler principalement du Sud [ils rejetteraient à Saint-Jean-de-Luz le sable dans la mer],

les vents du Nord et du Nord-Ouest sont presque nuls dans ces saisons; ils ne paraissent aucunement au printemps, comme l'indique la première rose, et enfin, s'ils se montrent quelquefois en été, leur vitesse ne peut être l'occasion d'aucun entraînement.

Il résulte de toutes ces observations qu'à Saint-Jean-de-Luz les vents de terre ont une prépondérance remarquable, ce qui donne à cette baie ce caractère spécial de grandes mers y arrivant très-fréquemment avec du calme dans l'atmosphère. Ajoutons que si le contraire eût été la règle, depuis longtemps la ville de Saint-Jean-de-Luz aurait disparu par l'effet de l'érosion des lames.

Marées. — Il nous reste enfin à dire quelques mots de la marée, avant d'aborder l'étude directe de l'état actuel de la baie.

Les marées n'ont pas dans la baie une grande amplitude, elles peuvent être exprimées empiriquement par une loi assez simple.

Il résulte en effet des observations recueillies *en 187*. qu'il y a la relation suivante entre la hauteur de la marée à Brest et au Socoa:

$$\text{Haute marée au Socoa} = \frac{3}{4}\,(\text{haute M. à Brest} - 1^{m},70).$$

On voit de suite que cela limite à $4^{m},73$ les plus grandes marées de syzygies.

Les hauteurs des basses mers sont liées par une formule analogue :

$$\text{Basse mer au Socoa} = \frac{3}{4}\,(\text{basse mer à Brest} - 1\ \text{mètre}).$$

On voit que le coefficient est le même ; toutefois cette dernière relation qui exprime la basse mer n'est plus exacte lorsque les coefficients de la marée sont considérables. Ainsi au-dessous des marées de $1^{m},50$ à Brest, la basse mer à Socoa diminue moins vite que ne le donne la for-

ule: *à fortiori*, lorsque la mer tombe à Brest au-dessous e 1 mètre, ne peut-on avoir au Socoa des basses mers égatives.

L'établissement du maréographe qui est en construction u Socoa permettra, mieux que je n'ai pu le faire, d'étudier fond ces relations, en formulant aussi une loi pour les eures, loi qui se montrera probablement moins simple que elle donnée dans l'annuaire des marées.

Ainsi pour les pleines mers de morte eau, l'avance du ocoa sur Brest, d'après nos observations, est de 22 mintes; dans les vives eaux, l'avance atteint 40 minutes; nnuaire donne pour les unes et les autres le chiffre connt de 25 minutes par rapport aux hautes mers du Coran.

Pour les basses mers, l'avance en quadrature serait de minutes sur Brest et en vives eaux de 1 heure, tandis e l'annuaire donne 25 minutes de différence avec Brest.

En résumé, nous avons donc dans la baie une amplitude e la marée égale aux $\frac{3}{4}$ de celle de Brest, chiffre assez notable et qui provoque un déplacement d'eau considérable, tant à cause de l'étendue de la baie que de celle des rivières de la Nivelle et de l'Untzin; nous reviendrons dans le chapitre suivant sur les courants auxquels ce déplacement d'eau donne naissance.

CHAPITRE II.

ACTIONS INTÉRIEURES.

Description de la baie 1873. — Centre d'action des lames. — Courants intérieurs observés. — Pente des plages. — Surface. — Volume.

La baie de Saint-Jean-de-Luz est encore aujourd'hui, malgré la destruction continue de la plage qui en forme le fond, plus large que profonde; c'est une anse dont la plus grande dimension est parallèle à la côte et au soulèvement des Pyrénées.

Sa limite, du côté de la mer, se compose de grandes tables schisteuses inclinées de 60° sur l'horizon et courant à l'O.-S.-O.; elles opposent à la mer une barrière sérieuse; dans le fond de la baie, au contraire, les collines de Bordagain et de Ciboure, formées de roches feldspathiques, facilement décomposables, fusent à l'air et à la pluie, et sont entraînées par les eaux avec une grande rapidité. Cette situation géologique de terrains résistants, de couches homogènes protégeant d'autres massifs plus affouillables, a donné à tous les ports de la côte, à Saint-Sébastien, au passage et à Saint-Jean-de-Luz, une même physionomie.

On voit de suite que tous ont dû passer par l'état de lacs littoraux, servant de réceptacles aux pluies provenant de bassins géographiques étendus, lacs ayant facilité le dépôt d'alluvions étalées horizontalement dans toute la partie inférieure des vallées et ayant laissé leur trace en des points où n'arrive plus le niveau de la mer; puis un jour, soit par l'action répétée des lames, soit par la pression des eaux intérieures, soit plus probablement encore par suite d'une fracture géologique des seuils, car ces

fractures sont situées dans le prolongement de vallées, le lac a été mis en communication avec la mer, les eaux se sont déversées par des passes plus ou moins larges.

A Saint-Jean-de-Luz la fracture a été double, elle a laissé un rocher isolé, Artha, entre la pointe de Sainte-Barbe à l'est et le Socoa à l'ouest; mais la passe la plus profonde, celle qui est à l'ouest d'Artha, se trouve dans le prolongement des deux vallées principales, de celles de la Nivelle et de l'Oncin.

Artha et les deux pointes éprouvent au dehors le premier choc des lames, et garantissent quelque peu le fond de la baie; les roches qui les forment sont, comme nous l'avons dit, schisteuses.

Le maximum de l'action des lames ayant lieu à peu près au niveau des basses mers, c'est à cette cote que se trouvent ramenées les roches en dehors des pointes hautes du Socoa et de Sainte-Barbe (Artha, nous l'avons dit, conserve 6^{m},50 d'eau sur son sommet), la mer promène sur cette étendue des fragments arrachés à la côte, elle s'en sert pour user le sol dont la contexture fendillée, dont les couches s'enfonçant sous un angle de 60°, arrêtent de leur côté, dans leurs intervalles, tous les petits matériaux.

Ces fissures, ces escaliers augmentent d'ailleurs de grandeur, ils sont d'autant plus prononcés que la profondeur augmente. Si Mabessin, de même qu'Artha, ne paraît pas avoir subi d'altération de temps immémorial, sous l'influence des coups de mer, il n'en est pas ainsi du relief terrestre, même de celui en dehors de l'action directe des lames; l'érosion est, là, sensible. Ces tables, de 30 mètres de hauteur, qui limitent la côte et qui paraissent arrêter la mer d'une façon immuable, sont cependant chaque jour pénétrées par l'eau de mer qui s'élève sous forme d'embruns. Le sel s'y cristallise, ce qui produit un effritement de la roche, comparable à une usure directe, et la côte

cède ainsi à distance devant la mer. En dedans de la baie, on retrouve bien encore ces mêmes roches qui faisaient autrefois le désespoir des capitaines, les câbles des ancres se coupant sur leurs arêtes comme sur des couteaux; mais les bancs sont peu épais, et ils laissent voir dans leurs intervalles des couches d'argile jaunâtre, puis les roches feldspathiques décomposées ou non dominent.

En regardant la *fig.* 3, Pl. 7, qui donne la nature du sol en même temps que les positions de la plage à différentes époques, on voit au milieu de la baie une assez vaste étendue formant une large croix, où la sonde n'accuse que du sable et des galets; c'est dans la branche de gauche que mouillaient autrefois les navires, se tenant plus ou moins dans l'est, selon que la mer comblait ou déblayait; fait qui, nous le montrerons bientôt, concordait avec le degré d'avancement des travaux du Socoa.

Mais, dans cette partie de gauche, on ne peut assurer que l'épaisseur de la couche de sable soit partout très-considérable, car, en quelques points, des tempêtes ont mis à nu des roches. Il n'en est pas de même dans la partie centrale qui se trouve sur le prolongement de la vallée de la Nivelle; là, la faille paraît large, et la lance n'a accusé que du sable, sauf en quelques points isolés où l'on trouve de l'argile.

En poursuivant maintenant, dans le fond de la baie, l'étude des effets produit par les lames, effets décrits déjà dans le premier chapitre, en ce qui concerne les pointes du Socoa et de Sainte-Barbe, on reconnaît : 1° que la vitesse des lames dans l'intérieur de la baie obéit bien, aux différentes heures de marée, à la loi de M. Scott Russell, $V = \sqrt{g(H + h)}$ en prenant pour H la hauteur moyenne du fond entre Artha et la plage augmentée de celle de la marée. L'observation peut en être facilement faite par un gros temps, en suivant, du haut de la pointe de Sainte-Barbe, le développement des lames qui brisent sur Artha,

et en comptant le nombre de secondes qui s'écoule entre ce moment et celui de leur arrivée à la plage.

2° Quelle que soit la direction de la lame au large, du moins entre l'Ouest et le Nord-Ouest, le premier brisant à la plage a lieu vis-à-vis de la rue qui longe l'église, c'est-à-dire vis-à-vis du café de la plage. Puis, suivant la directioninitiale et les ondes de vent interférées, le brisant se continue à droite ou à gauche (le retard de ces fractions d'onde est du reste faible); au moment de la pleine mer, ce retard est un *minimum*, et l'on entend un bruit sourd et énorme sur une étendue considérable.

Ce fait, rapproché de la courbure rigoureuse en arc de cercle de la ligne de basse mer et de celles de 3, 5 et 7 mètres au-dessus de zéro, semble indiquer qu'il y a dans la baie un centre d'interférence ou de convergence pour les lames directes ou non qui s'épanouissent ensuite sur la plage.

Nous avons déterminé ce point sur la carte n° 3 pour pouvoir étudier ultérieurement l'action multiple des courants, en faisant des coupes du sol aboutissant toutes à ce même centre; nous avons eu ainsi l'avantage de toujours voir les matériaux qui composent le sol, influencés de la même manière par le choc de la lame.

Rivières.

Deux rivières et un petit ruisseau se jettent dans la baie : la Nivelle ou Durdasury, qui forme le port de Saint-Jean-de-Luz, en séparant cette petite ville de Ciboure, son ancienne rivale, et l'Oncin dont l'importance est beaucoup moindre et qui se jette dans l'Ouest de la baie; enfin un petit ruisselet sert de déversoir aux eaux qui proviennent de deux petits vallons de l'Est.

La Nivelle a un cours d'une certaine importance; elle prend naissance en Espagne, où se trouve une bonne partie

de son bassin, coule d'abord directement au Nord, puis s'infléchit au Nord-Ouest à son entrée en France. Son cours est de 30 kilomètres, son bassin géographique de 24.400 hectares, ce qui lui fait recevoir annuellement une quantité de pluie d'au moins 460 millions de mètres cubes. Si l'on admet une perte par l'évaporation des deux tiers de la quantité tombée, cela donne encore un débit moyen par seconde de 4^{mc},80. Mais comme dans toutes les rivières dont la longueur est peu considérable et qui prennent leur source dans les montagnes, le débit est loin d'être régulier, en été le volume de son eau n'atteint peut-être pas le tiers de ce dernier chiffre, pendant que les pluies hivernales en font une rivière importante; le volume d'eau douce débitée toutes les 24 heures suffirait, dans ce dernier cas, pour remplir, à chaque marée, la baie de Saint-Jean malgré sa capacité de 9 millions de mètres cubes. Il faut pourtant joindre à ce volume uncube important d'eau salée qui sort aussi en jusant de la rivière, et les troubles ainsi que le sable sont en proportion de tout ce volume. Les eaux de la Nivelle se distinguent en hiver, au large, jusque par le travers de Bidart; nous verrons qu'il faut tenir grand compte des alluvions qu'elle entraîne lorsque nous analyserons l'avenir de la baie.

L'Oncin, le deuxième cours d'eau qui se jette dans la baie de Saint-Jean, recueille les eaux pluviales d'un petit bassin de 32 kilomètres carrés; ce bassin est limité dans l'Est et dans le Sud par celui de la Nivelle; une petite chaîne de collines le sépare dans l'Ouest de la Bidassoa. Le débit moyen de l'Oncin est d'environ 0^{m},60 par seconde, mais en été le lit est absolument à sec au moment de la marée basse; l'Oncin ne reçoit que quelques centaines de mille mètres cubes d'eau de mer dans les syzygies.

Courants. — Les courants qui circulent dans la baie de Saint-Jean-de-Luz sont soumis à diverses influences agissant soit sur leur direction, soit sur leur vitesse. L'étendue

de la baie, qui croît avec la hauteur de la cote au-dessus du niveau des basses mers, donne en premier lieu des termes qui, multipliés par chaque accroissement de hauteur de la marée, hauteur variable, donnent un des grands éléments de cette vitesse.

Le volume d'eau que la baie peut ainsi appeler du dehors deux fois par jour, atteint en syzygie 8 millions de mètres cubes, volume presque égal à celui de la baie à marée basse (9 millions).

Les rivières de la Nivelle et de l'Oncin aspirent de leur côté dans les syzygies un volume de 3 millions de mètres cubes, et lorsqu'il y a du doucin, le jusant restitue des volumes d'eau saumâtre beaucoup plus considérables.

Les courants extérieurs, dont nous avons indiqué la marche dans le chapitre précédent, agissent de leur côté par une action d'entraînement et de frottement. Enfin une troisième cause, provenant de la hauteur et de la direction des lames, se trouve apporter en coup de vent un élément de puissance aussi énergique que les deux précédents. On voit de suite combien doit être variable, dans la baie, la résultante de toutes ces actions, aussi nous exposerons d'abord ce qui arrive lorsque les circonstances sont normales ; nous passerons ensuite au cas où les entraînements sont *maxima*, puisque en définitive c'est cette dernière action qui règle l'état d'équilibre de la baie.

Lorsque la mer est plate au dehors, que la marée agit seule, et que l'étiage de la Nivelle est normal, les directions du flot sont disposées comme l'indique la *fig.* 1, Pl. 7.

Le courant extérieur vient du Sud-Ouest, passe devant la baie en y envoyant une de ses branches ; cette branche s'épanouit d'abord, puis se contracte pour entrer dans la Nivelle.

A l'est, l'Oncin reçoit directement les eaux qui filent le long du Socoa et aussi celles qui, ayant dépassé les bouées,

reviennent en décrivant un arc de cercle jusque vers l'embouchure de cette rivière.

C'est, en somme, un double courant circulaire qui marche dans le sens des aiguilles d'une montre et qui balaye la grande plage de Saint-Jean et celle de l'Oncin. Ce tourbillon se comporte donc comme s'il était engendré directement par le courant de flot extérieur.

La vitesse en syzygies par temps calme ne dépasse pas dans la baie $0^m,2$ à la surface, $0^m,1$ à la profondeur de 5 mètres; à la plage, cette vitesse est presque nulle.

A l'entrée de la Nivelle, lorsque la rivière est à l'étiage, le courant atteint en flot la vitesse de 2,5 nœuds ; il s'appuie sur la jetée de Ciboure et sur le pied de Bordagain. Cette vitesse n'est acquise qu'au bout d'une heure trois quarts de montée.

Le courant de flot se conserve avec toute sa vitesse dans la Nivelle jusqu'à la quatrième heure; il diminue ensuite progressivement en ayant encore, au moment de la pleine mer, une vitesse de $1^m,5$.

Dans les grandes marées, il entre ainsi 2.500.000 mètres cubes d'eau à la Nivelle.

L'Oncin reçoit un volume d'eau infiniment plus réduit, quelques centaines de mille mètres cubes ; le total arrive à former près du tiers du volume de la baie. Si le courant extérieur avec ses vitesses normales de $0^m,5$ par temps calme a déjà une influence sur le tourbillonnement qui s'opère dans la baie ; lorsque les vents soufflent de l'Ouest et que sa vitesse atteint deux nœuds, le mouvement que nous avons indiqué s'accentue bien davantage. La section qui a balayé la grande plage de Saint-Jean-de-Luz vient appuyer fortement sur le pied de Bordagain ; un petit tourbillon dérivé sert à fournir les eaux nécessaires à la Nivelle, et le mouvement le long de la plage de l'Oncin ne fait qu'un avec celui de la partie Est de la baie. On a dans ce cas des vitesses de $0^m,3$.

Arrivons maintenant à l'action de la lame. Si elle conserve une hauteur moyenne, la dérive de sa partie supérieure engendrée par le seul frottement de sa base, occasionne déjà une accélération de vitesse de la surface de $0^m,2$, dirigée dans le même sens qu'elle, c'est-à-dire perpendiculairement aux lignes de niveau; si la lame arrive à briser, l'effet est beaucoup plus considérable.

La pointe de Sainte-Barbe avec les hauts-fonds qui l'entourent donne alors, comme l'indique la carte, une composante qui s'ajoute au mouvement tourbillonnaire direct; près des bains de mer, le courant du brisant porte à l'Ouest, il en est de même à l'entrée de la Nivelle, tandis que les lames qui frappent la digue du Socoa montent jusqu'à son sommet et reculent ensuite sans pouvoir compenser, en aucune façon, ce qui s'est produit à l'Est de la baie.

On peut, d'après cela, se faire une idée de ce qui arrive en coup de vent, lorsque toutes les causes agissent dans le même sens. Le mouvement crculaire est alors très-apparent, la lame qui brise sur le massif d'Artha barre toute la passe de l'est; elle déferle depuis les fonds de 6 mètres jusqu'à la tourelle des bains, en envoyant dans le Sud une masse d'eau considérable. Aussi est-il arrivé que dans le coup de vent du 18 janvier 1873, un bâtiment amarré sur l'une des bouées du mouillage est venu en travers de la lame par la force de ce courant circulaire et a cassé ses chaînes dans un rappel de l'avant. Ce même navire, alors entraîné vers l'entrée de la baie, près de l'extrémité de la grande jetée, puis repoussé par le vent et la lame, est venu se présenter successivement devant le plateau de Sainte-Barbe, devant l'établissement des bains, puis a remonté enfin contre le vent tout le long de la plage de Saint-Jean-de-Luz jusqu'à arriver près de l'entrée de la Nivelle où il s'est échoué sur le sable.

Le fait de n'avoir pas été mis à la côte près des bains,

lorsque le vent et la houle y portaient, tandis que le courant se bornait à la prolonger, demande quelques explications.

Dans les expériences que nous avons faites avec une boule en bois de gros diamètre, pour connaître la direction d'entraînement provenant des brisants, il est arrivé plusieurs fois que le flotteur, emporté par le retour de la lame, disparaissait un moment pour ressortir ensuite plus au large.

Ce fait, qui a causé souvent la mort de baigneurs, n'est pas particulier à la plage de Saint-Jean, il se produit partout lorsque le talus a une inclinaison suffisante. Si la mer est grosse et vient briser contre une plage, l'onde dérivée qui lui succède s'élève d'autant plus sur la pente qu'elle est actionnée par la vitesse provenant de la partie supérieure de cette lame. Moins la première lame aura été brisée, plus l'élévation sera grande, car il n'y a pas perte d'énergie dans les tourbillonnements moléculaires. Les courants de retour ainsi créés qui glissent rapidement sur le sable, prennent la lame suivante par le pied, la coupent, et lui faisant faire le tour, ont une action d'entraînement très-manifeste.

Or, le 18 janvier la mer était démontée, elle atteignait les plus hautes cotes de la plage en des points où le profil est le plus accentué ; il y avait donc réunies toutes les circonstances nécessaires pour produire ce mouvement qui transforme les lames en cylindres à roulement également rapide à la partie supérieure et à la partie inférieure ; mais le premier s'exerce aux cotes les plus élevées de la plage, tandis que le second atteint les fonds de 6 mètres, ceux que prolongeait le navire en détresse. Sur une plage moins inclinée, le même effet n'eût pu se produire, et le navire fût monté sur le sable directement vis-à-vis de l'entrée de la baie.

En résumé, en coup de vent, le mouvement circulaire

est considérable pendant la durée du flot; et comme alors le sable est remué par la lame et qu'il peut obéir immédiatement à l'action du courant, on doit constater des entraînements dans l'Est; la plage de Saint-Jean doit donc prendre le profil qui convient, non à une plage battue par la mer, mais à un banc près duquel passe un courant rapide.

Au moment de la pleine mer, les effets que nous avons décrits se produisent encore; ils ne commencent à être modifiés qu'une heure après.

Indiquons maintenant les mouvements que nous avons constatés pendant le jusant, en suivant toujours le même ordre que ci-dessus.

Après une période de calme à la mer, lorsque le jusant est accompagné de courants extérieurs portant à l'O.-S.-O., le jeu des dénivellations de la marée produit dans la baie un effet compliqué.

Il n'y a point, comme pendant la durée du flot, un tourbillon unique dont le sens est direct, mais plusieurs systèmes dont les points de contact se déplacent suivant l'heure de la marée et les vitesses respectives des forces en jeu.

Le courant de jusant qui sort de la Nivelle se porte d'abord sur l'extrémité de la grande jetée du Socoa, puis il s'infléchit progressivement à l'est et sort enfin de la baie, près de la pointe de Sainte-Barbe, en décrivant un arc de cercle autour d'Artha.

Les points qui sont un peu en dehors et à l'Est de ces premiers filets sont entraînés sur la pointe même de Sainte-Barbe, puis retournent ensuite partie au large, partie dans la baie. Cette séparation se fait sur la ligne qui joint la tourelle des bains à l'accore Sud des fonds de 6 mètres du plateau de Sainte-Barbe.

Plus à l'Ouest, nous trouvons une autre séparation de deux courants; elle a lieu vers trois heures de jusant et

vis-à-vis de l'église de Saint-Jean-de-Luz; cette séparation remonte ensuite à l'Est pour disparaître vers cinq heures. Le courant circulaire qui s'appuie dans l'Est sur celui de la Nivelle est permanent pendant tout le jusant.

L'Oncin envoie de son côté ses eaux en partie le long du Socoa, en partie le long de la plage, où elles viennent former une autre branche qui se joint aux eaux de la Nivelle.

Lorsque les vents ont soufflé du Nord pendant quelques jours et que le courant extérieur file au Sud-Ouest avec une vitesse de 1ⁿ,5, ce qui du reste est rare, le circulus de l'Oncin s'accentue, et la Nivelle divise alors la baie en deux sections animées chacune d'une rotation différente. Si ces effets sont déjà plus compliqués que pendant le flot, cette complication augmente lorsqu'on arrive à la distinction entre les courants de surface et ceux de fond.

Les premiers agissent surtout sous l'impulsion des eaux saumâtres ou douces qui sortent de la Nivelle, les seconds ont généralement une vitesse moindre et leur sens est quelquefois opposé; ce fait, qui se produit principalement par le travers de la plage de Saint-Jean, donne à la mer un mouvement de cylindrage sur le fond qui, nous le savons, est particulièrement propre à provoquer les mouvements du sable.

A terre, dans les brisants de la plage, nous avons, dans nos expériences, d'abord trouvé un mouvement portant dans l'Est, puis un entraînement au large, puis enfin une direction Nord.

Si l'on a des vents d'aval, le courant extérieur de Renne se rétablit même pendant le jusant; le mouvement de rotation direct s'accélère dans la partie Est de la baie, les eaux de la Nivelle tendent à lui communiquer une plus grande vitesse, mais comme elles sont entraînées elles-mêmes dans l'Ouest par la force centrifuge, elles balayent le pied de Bordagain en annulant le retour de la plage de l'Oncin. On a ainsi, comme pendant le flot, un tourbillon

unique. Si l'effet de la houle s'y ajoute, si la mer brise non-seulement à la plage, mais encore sur Artha et sur la pointe de Sainte-Barbe, il y a encore une augmentation d'impulsion, et le jusant de la Nivelle vient corroder réellement le pied de Bordagain.

En jusant comme en flot, on voit ici que l'effet de la construction de la digue du Socoa a été d'empêcher la formation d'un contre-courant capable de faire équilibre à celui que produisent les lames à la pointe de Sainte-Barbe. D'où évidemment un motif de changement d'équilibre dans les conditions antérieures de la baie.

En résumé, nous devons trouver aujourd'hui, dans le levé de 1873, un état pouvant coexister avec l'action d'un courant de vitesse moyenne circulant en sens direct dans la baie de Saint-Jean-de-Luz. Les effets de ce courant doivent être maxima le long de la grande plage, accentués le long de Bordagain et moins sensibles du côté de l'Oncin (*).

Or, si nous examinons notre dernier levé, nous voyons que ce courant est manifeste non-seulement parce que les deux rivières ont vu leur embouchure reportée aussi loin que possible dans l'Est, et cet effet, pour l'Oncin, est relativement récent, mais aussi parce que le banc de l'entrée de la Nivelle s'appuie uniquement sur la jetée de l'est.

L'érosion de la base de Bordagain, érosion qui paraît curieuse au premier abord, puisque cette partie est beaucoup plus protégée qu'autrefois, a été certainement accélérée par la construction de la jetée du Socoa; aussi a-t-on vu disparaître en quelques années la route construite en dernier lieu, pendant que glissaient par grandes masses

(*) Ce courant n'est toutefois pas homogène; les brisants de l'Est donnent d'abord un courant de surface qui ne devient courant de masse que successivement, et en jusant la nivelle donne un autre courant de surface qui se transforme plus difficilement que le premier.

dans la mer des escarpements pour lesquels on n'av conçu aucune crainte.

Si l'on examine d'un autre côté la pente de la gran plage de Saint-Jean, on trouve vis-à-vis du café les incl naisons suivantes aux différentes profondeurs.

COTES. mètres.	PENTES.
— 6	
	$\frac{1}{18}$
— 3	
	$\frac{1}{11}$
Ligne de basse mer. . 0	
	$\frac{1}{7}$
+ 3	
	$\frac{1}{8}$
+ 5	
	$\frac{1}{6}$
+ 7	

tandis qu'au nord d'Arcachon les pentes au-dessous du ni veau des basses mers oscillent autour de $\frac{1}{50}$ et près d l'Adour, autour de $\frac{1}{75}$.

C'est sous ces diverses influences que la baie a pris l profil intérieur qui est indiqué par la carte représenté *fig.* 1, Pl. 8, où l'on voit que les fonds de 10 mètres et au dessus occupent une assez faible place. Il en est autrement de ceux de 6 à 10 mètres qui sont les plus utiles, au point de vue du mouillage des navires de commerce; la courbure de la ligne de niveau de 6 mètres y est devenue réguliè dans l'Ouest au détriment de l'ancien mouillage, et enfi il existe maintenant une très-grande zone de petits fonds dans l'angle compris entre Bordagain et la plage de l'Oncin.

Les chiffres suivants ont été obtenus pour la surface oc cupée par les eaux de la baie en se limitant à la ligne de basse mer et en s'arrêtant du côté du large à celle qui part de l'extrémité de l'ancienne jetée Nord du Socoa et aboutit à l'enracinement de la vieille jetée de Sainte-Barbe. (Cette limite a été prise la même pour tous les cu bages que nous avons dressés.)

On a ainsi en 1875 un total des eaux de 8.675.000 mètres cubes correspondant à une surface de 148 hectares, qui se partage ainsi :

	Surface.	Volume.
De 0 à 3 mètres.	41 hectares	629.000 mètres cubes.
De 3 à 6 mètres.	33 —	1.471.000 —
De 6 à 10 mètres.	53 —	4.137.000 —
Au-dessus de 10 mètres.	21 —	2.438.000 —
Total.	148 hectares	8.675.000 mètres cubes.

Le volume des eaux comprises entre les lignes de niveau de 6 à 10 mètres est le plus considérable de toute la série pendant que la surface correspondante est aussi maximum.

CHAPITRE III.

DESCRIPTION DES ÉTATS ANTÉRIEURS DE LA BAIE DE SAINT-JEAN-DE-LUZ.

COMPARAISON DES LIGNES DE NIVEAU; COURBES DES MAXIMA D'ÉROSION.

COMPARAISON DES SURFACES ET DES VOLUMES.

L'étude que nous venons de faire des forces qui sont en jeu dans la baie de Saint-Jean-de-Luz, va nous permettre d'examiner actuellement avec fruit les états divers par lesquels a passé la baie, et nous chercherons dans chaque constatation à apprécier l'influence qui fut prépondérante, pour en tirer quelque lumière sur l'avenir qui est réservé à la baie.

Le plus ancien document que nous ayons trouvé vient de la bibliothèque de la rue Richelieu ; c'est un plan cavalier de Saint-Jean-de-Luz vu de terre. La date est approximativement fixée par les mots : l'hôpital se bastit et aussi par la grandeur de la déclinaison de l'aiguille aimantée.

Le premier millésime indiqué se rapporte aux ann 1643-45, le second à 1647 (*).

Le plan montre que le Socoa était déjà muni de ses d digues intérieures (nous voyons dans un mémoire qu'e existaient 30 ans auparavant). Saint-Jean-de-Luz ne p pas encore s'inquiéter des envahissements de la mer, et ce qui est probable, la plage a été antérieurement rong cette érosion s'est produite assez loin de la ville bâti l'abri d'un cordon d'alluvions et de dunes, pour qu'il ait pas eu péril pour ses maisons.

A cette époque les véritables difficultés résultaient l'ensablement de la Nivelle et de la hauteur de la barre les ingénieurs, en considération de l'excellence du mo lage intérieur de la rivière et de la qualité du fond était de sable mouvant, se bornaient à demander qu' obviât au défaut le plus apparent, au peu de profond de l'entrée. Ils proposaient à cet effet de rétrécir l'emb chure au moyen de jetées, pour donner plus de force a courants et leur permettre d'entraîner les alluvions large, ils indiquaient même la construction d'écluses p produire des retenues d'eau et augmenter les chasses jusant.

A la seule inspection du plan on doit reconnaître que l plaintes étaient justifiées; la Nivelle était plus large qu'el ne l'est aujourd'hui, elle comportait probablement un d plus considérable, mais débouchait, non en saillie sur plage, mais au fond d'un entonnoir; les lames ven normalement à sa dernière direction devaient donner à l barre formée par ses apports le maximum de hauteur.

(*) La coïncidence est trop grande pour qu'on ne montre p qu'elle dépend d'une moyenne de différences d'azimuth. Ainsi, a pour Saint-Jean-Bordagain 3° N.-E. ; pour Saint-Jean-Cibour 2° 30′ N.-E.; pour Saint-Jean-Socoa, 7° N.-E. : moyenne 4° 10′ cor respondant à l'année 1647. Les millésimes partiels seraient 1660, 1657 et 1624.

Du côté de l'Ouest nous voyons le courant de l'Oncin détourné dans le Sud par l'effet direct des brisants du Socoa, qui ne se trouvent arrêtés par aucun môle (*). Il y a donc là une double cause pour diminuer quelque peu l'érosion annuelle de la plage de Saint-Jean.

A l'époque où ce plan a été dressé, le commerce des deux villes, reliées par un pont, était considérable; on construisait à Saint-Jean et à Ciboure des navires pour le Roy, on armait au Socoa pour la pêche de la morue, et quelquefois 150 bâtiments se réfugiaient dans la Nivelle, où la sécurité était absolue.

Comme on n'en peut dire autant aujourd'hui, on est obligé de reconnaître que la construction des digues verticales de l'entrée, en facilitant la propagation des lames dans l'intérieur pendant le flot et à pleine mer, n'a point été une cause d'amélioration pour le mouillage de la rivière.

2° Le second plan est tiré des archives du dépôt; ici la vue est aussi cavalière, mais la baie a une profondeur tellement réduite qu'il n'y a possibilité d'en tirer aucune conclusion relative à la position de la plage.

La date de ce document, postérieur au premier, peut être établie par la construction du premier mur de garantie. Le renseignement fourni par la déclinaison conduit à une impossibilité; l'aiguille aimantée n'a jamais eu cette direction.

3° Viennent ensuite les deux premiers plans dont le levé ait été fait géométriquement; leur date fixée par la déclinaison ne doit pas beaucoup s'écarter de 1730 (**), mais elle peut être donnée, d'autre part, par l'état de diverses constructions. On remarque sur ces plans que le premier mur de garantie est déjà rompu dans son milieu; l'extré-

(*) C'est un courant de surface.

(**) Le premier de ces plans accompagne un rapport signé Cher de Norey, mais non daté.

mité Est subsiste seule. Du côté de Bordagain les maisons qui étaient placées au bas de la partie inférieure de la colline sont déjà attaquées, et si la plage en avant s'étend encore assez au large au moment de la basse mer, la ligne de haute mer ne laisse aucune route entre elle et le pied du coteau. La Nivelle a été endiguée depuis l'époque du premier croquis et les levées ont été édifiées en suivant le lit contourné de la rivière; les dernières maisons de Ciboure sont protégées par une jetée, enfin la digue de l'Est du Socoa fermant plus complétement le petit port vient d'être achevée.

Quelques sondes sont portées sur les deux plans suivants qui paraissent copiés l'un sur l'autre; elles servent à indiquer la possibilité de mouiller quatre grands navires dans la baie. Celui qui se trouve le plus à l'Est a des fonds de $8^{m},70$, dans un point où l'on ne rencontre que 4 mètres aujourd'hui. La présence des sondes et surtout la manière dont le relief du terrain est représenté nous fait considérer sur ces plans la ligne de basse mer comme bien déterminée, aussi c'est la première que nous reportons sur le tracé général des lignes de niveau (*fig.* 3, Pl. 7).

Le plan de Touros, qui vient ensuite, porte le millésime de 1749; c'est un plan qui était joint à des projets de reconstruction des digues de la Nivelle. A cette époque le deuxième mur de garantie de la ville, placé en arrière de la portion de l'Est qui avait résisté, est à son tour modifié; on l'allonge dans l'Ouest et dans l'Est de façon à donner une protection complète aux propriétés, depuis le couvent des religieuses jusque et au delà du travers de l'église, vis-à-vis de la sortie de l'ancienne route de Bayonne. Ce troisième mur doit se rejoindre par un raccordement à la jetée de la Nivelle.

L'ensemble des travaux proposés pour l'embouchure comprend la construction de deux jetées parallèles portant la sortie de la rivière très en dehors de la plage,

ce qui force à démolir les anciennes constructions qui suivaient une courbure très-différente.

Les eaux du jusant, d'après le nouveau tracé, seront reportées bien plus dans l'Ouest, ce qui augmente la rapidité de l'érosion de la grande plage.

Dans l'Est on voit qu'on a porté les nouveaux travaux du fort du Socoa; la rivière l'Oncin coule directement à l'Est.

Ce plan, dressé spécialement pour donner un ensemble de projets dont le détail est indiqué sur des feuilles séparées, ne porte pas de sondes, et l'on remarque que le tracé de la plage est identique à celui qui est donné par le document antérieur. Comme on ne peut admettre qu'il en ait été ainsi, puisque dans l'intervalle le tronçon du premier mur de garantie et le couronnement du second ont été enlevés par la mer, on doit en conclure que cette ligne de basse mer du plan de Touros a été empruntée au document de 1730 (*).

La carte suivante a été gravée à l'occasion des projets de construction des digues d'Artha et du Socoa.

On avait conçu en 1783, comme plus tard en 1866, le projet de créer de toutes pièces une rade fermée à Saint-Jean-de-Luz et l'on croyait pouvoir arriver très-rapidement à ce but en employant, pour fonder la digue, le système des cônes qui avait presque réussi à Cherbourg.

Du côté des deux pointes du Socoa et de Sainte-Barbe, les travaux entrepris avec vigueur en 1783 étaient arrivés en 1787 à donner des digues de 92 toises et de 76 toises de longueur, lorsque le manque d'argent et les préoccupations politiques les firent arrêter.

Puis la Révolution ne permit même pas de les entretenir, et la mer, sans s'inquiéter des agitations des hommes, les démolit pierre par pierre.

(*) La déclinaison se rapporte à l'année 1749.

Il ne restait daus ces dernières années, de ces grandes digues, qu'un tronçon à Sainte-Barbe et l'amorce du Socoa qui avait reçu un revêtement d'après le système du colonel Emy.

Sur le plan gravé on remarque que le troisième seuil de garantie n'a pas résisté davantage que les précédents; il a été démoli en mars 1782, et la même année on a construit en arrière un quatrième mur sous le nom d'estacade 1782.

C'est dans ce coup de vent de 1782 que le couvent des Ursulines a été détruit par la mer, ainsi que le seuil qui le garantissait. Le plan gravé nous montre que l'on n'avait pas renoncé à améliorer l'entrée de la Nivelle par des digues que l'on prolongeait très-avant dans la baie, conformément aux idées du temps, et l'on pensait aussi à créer dans la rivière un bassin à flot muni d'écluses de chasses pour déblayer les bancs de l'embouchure et abaisser le seuil de la barre extérieure.

Dans l'Est, l'érosion du pied de Bordagain a déjà fait disparaître un certain nombre de maisons; l'Oncin se jette à la mer dans une direction normale à la plage.

Vient ensuite, par ordre chronologique, un plan signé par le chevalier Isle, major des vaisseaux du roi, plan dont la partie topographique est certainement empruntée aux ponts et chaussées, mais qui joint aux sondes de ce service un assez grand nombre de cotes nouvelles.

C'est le premier document sur lequel nous puissions tracer de sérieuses lignes de niveau et l'on peut s'assurer ainsi que la ligne de basse mer présente autre chose que l'apparence de la réalité.

L'entrée de la Nivelle est limitée en 1787 par des jetées qui ne s'avancent pas beaucoup au large, mais la digue Est a comme prolongement un grillage préparant son allongement.

Du côté de l'Ouest, le cours de l'Oncin commence à se détourner au nord.

Nous passons sous silence un plan de l'an IV de la République, qui donne un tracé de plage datant certainement de 25 années auparavant (*); il montre cependant que la partie ouest du troisième mur a été complétement démolie depuis 1787. On a prolongé la quatrième estacade en arrière de ce tronçon.

Nous arrivons maintenant à la série des plans modernes qui s'ouvre par un plan des ponts et chaussées datant de 1823.

Ce plan est sondé régulièrement; il constitue donc le deuxième document sérieux que nous produisions quoiqu'il reste encore quelque incertitude sur le zéro pris comme repère des basses mers.

Au point de vue des érosions, nous trouvons sur ce plan que la quatrième estacade, dite de 1782, a été démolie à son tour; il reste pourtant encore des vestiges de la partie Est de la troisième.

D'autre part, on construit une cinquième levée qui portera le nom de seuil de garantie. C'est le seuil qui existe encore aujourd'hui. Le puits qui est resté si longtemps debout comme une colonne, sur le bas de la plage et qui n'a été démoli que lors du coup de vent de cette année, commence à se montrer au sommet de la plage, mais en dehors de la ligne des hautes mers: enfin du côté de Bordagain, plusieurs rochers paraissent déjà détachés de la côte et la rivière de l'Oncin continue à porter son embouchure dans le Nord.

Les levés suivants sont dus à MM. Beautemps-Beaupré, 1826; Lieusson et Larousse, 1857, et à M. Bouquet de la Grye, 1864, 1873.

Pour tous, le point de départ de sondes est le même; il est situé à $7^{m},30$ en contre-bas de la tablette de la jetée de

(*) La déclinaison se rapporte à l'année 1744.

l'Est du Socoa ou à $0^m,20$ en contre-bas du zéro de l'échelle en bronze scellée dans le mur. Il ressort de la comparaison de ces plans que l'érosion a continué presque avec la même intensité qu'autrefois. Le cinquième seuil construit en matériaux meilleurs, et dont les joints ont été mieux entretenus, a toutefois parfaitement résisté; on vient en 1873 de le prolonger dans l'Est, de façon à protéger l'hôpital.

Dans les deux derniers levés, nous voyons en projet, puis en construction, le nouveau travail de fermeture de la baie. Il est basé, comme celui de 1783, sur la nécessité de fournir un mouillage aux navires que le mauvais temps surprend au fond du golfe de Gascogne, d'assurer la sécurité des bâtiments échoués dans le port du Socoa et dans celui de Saint-Jean-de-Luz; en plus, il doit garantir l'existence même de cette dernière ville que la mer envahit progressivement chaque année.

Nous voyons dans le dernier levé, qu'en 1873, la digue du Socoa a été prolongée sur une longueur de 390 mètres; il lui manque encore quelques dizaines de mètres pour arriver au point fixé par le projet: le rocher Artha est déjà couvert de 12.000 mètres cubes de blocs, ce qui le fait émerger à mi-marée, et cet amoncellement de matériaux doit former le noyau d'une digue placée à cheval sur le rocher en barrant dans la baie une longueur de 250 mètres. La passe de l'Ouest conservera une largeur de 235 mètres, quant à celle de l'Est, elle est fort réduite et sera peu praticable. Toutefois elle est maintenue, non pour la navigation, mais pour assurer dans la baie le jeu des courants; nous verrons tout à l'heure combien cette inspiration a été heureuse.

En ce qui concerne l'entrée de la Nivelle, depuis 1823, il y a eu une série d'attaques sur l'extrémité de la digue Est, qu'on a dû rogner de quelques mètres à deux reprises, puis il s'est produit un report de plus en plus constant du seuil extérieur dans l'Ouest; aujourd'hui il s'appuie tout à fait sur les roches de Bordagain.

Nous avons expliqué, à l'occasion des courants, la raison de l'érosion du pied de cette colline; cette érosion paraît manifeste dans les derniers levés, il ne reste plus aujourd'hui ni maisons, ni vestiges de l'ancienne route, ni même en plusieurs points, trace de la route carrossable construite en 1863-64. Malgré les enrochements, les pieux placés en contre-bas pour la défendre, l'action des lames et des courants jointe aux entraînements des coups d'eau a été telle que les terrains ont glissé par masses énormes entraînant tout sur leur passage.

Sous l'influence des mêmes accélérations des courants, l'*Oncin* arrive aujourd'hui à la limite Nord de sa course; ce ruisseau s'appuie sur la levée du Socoa.

La conclusion immédiate que nous pouvons tirer de ce rapide examen c'est, d'une part, qu'il y avait insuffisance dans les moyens employés pour protéger la ville, puisque l'on a dû construire successivement cinq levées et que chacune était placée en retrait sur celle qui la précédait. En second lieu, la trace devient de plus en plus manifeste d'un courant portant à l'Ouest, puisque la Nivelle et l'Oncin sont rejetées toutes les deux aussi à gauche que le permet la nature des lieux; enfin l'insuffisance des anciens procédés de construction apparaît lorsque les travaux se trouvent placés vis-à-vis de la grosse mer; la digue du Socoa avait perdu déjà 50 mètres lorsqu'on a consolidé par un revêtement les 100 mètres restants, et celle de la pointe Sainte-Barbe était d'un autre côté ramenée successivement aux longueurs de 75 toises en 1787, 100 mètres en 1826, 34 mètres en 1864 et 20 mètres en 1873.

La carte dont nous avons déjà parlé reproduit bien en ce qui concerne la plage de Saint-Jean-de-Luz les positions successives des différentes étapes (*), et elle pourrait être

(*) Elle montre immédiatement ce que la mer a détruit depuis 200 ans.

étudiée pour arriver déjà à des conclusions pratiques; mais au lieu de regarder les seuls avancements de l'Océan à ce niveau de la basse mer, l'examen sera bien plus instructif si nous considérons à la fois la marche de chacune des lignes de niveau. Le tracé, figuré sur la Pl. n° 7, va nous permettre de le faire plus facilement; la raison de la destruction si rapide de tous les seuils construits jusqu'à ce jour en ressortira clairement.

Nous avons indiqué qu'il existait, au milieu de la baie, un point de convergence pour les lames faisant le tour d'Artha, point d'où elles paraissent partir pour s'épanouir ensuite simultanément dans tout le fond de la baie.

Les sections portées sur cette feuille passent toutes par ce point A.

Comparaison entre les courbes de niveau. — La première A1 est dirigée sur le piédestal de l'ancienne croix des sables : sa direction S. 68° E. passe par l'extrémité actuelle de la grande digue du Socoa, c'est-à-dire que la partie de la baie qu'elle traverse n'est qu'à moitié soumise à l'action directe des grandes lames, puisque les grandes profondeurs sont orientées S.-E et N.-O. En revanche, la lame de surface y bat en plein la plage.

Sous leur influence la ligne de basse mer a éprouvé un recul de 167m,75 pour la période comprise entre 1730 et 1873, ce qui donne les érosions annuelles suivantes :

De 1730 à 1787.	+ 1m,58
De 1785 à 1826.	+ 1m,15
De 1826 à 1858.	+ 0m,64
De 1857 à 1864.	— 2m,00
De 1864 à 1873.	+ 3m,00

Sauf le retour en arrière de 1864, la courbe se prononce bien dans le même sens; le maximum a lieu entre 1864 et 1873, c'est-à-dire sous l'influence des travaux actuels.

La courbe de 3 mètres suit une marche un peu plus ré-

gulière : de 1787 à 1826 l'érosion moyenne est de 1 mètre environ, puis elle passe entre 1826 et 1873 à $1^{m},70$. Il y a un accroissement moyen d'érosion plus grand que sur la courbe de la basse mer, c'est-à-dire augmentation de la pente entre les deux courbes.

Pour la ligne de 6 mètres, nous avons d'abord une faible érosion, entre 1787 et 1826 — $1^{m},54$, puis de 1826 à 1864 le cheminement atteint $4^{m},86$, chiffre considérable, et enfin depuis le commencement des travaux, non-seulement l'érosion s'est arrêtée, mais même il y a un retour en arrière de 1 mètre par jour.

En résumé, si nous voulons bien nous souvenir, d'une part, que la jetée de Sainte-Barbe a été chaque année diminuée quelque peu depuis 1787, que la lame du vent agit librement dans cette section et que, de l'étude des courants, il résulte qu'en jusant il y a là une action de rotation spéciale, on en conclura qu'en présence des travaux qui se poursuivent sur Artha, travaux dont l'influence directe sera de diminuer la force de la lame de fond, puis de la lame de vent, la courbe de 6 mètres continuera sa marche en arrière, marche parallèle d'ailleurs à la ligne de 10 mètres ; la ligne des fonds de 3 mètres subira bientôt l'effet de cette diminution de pente, c'est-à-dire qu'elle s'arrêtera aussi, effet qui tendra à influencer la ligne de basse mer, mais plus lentement. L'effet des travaux est donc favorable dans le sens de l'arrêt de la plage, mais il ne se manifestera que dans quelques années ; les actions agissant dans le fond ont diminué lentement, mais les courants de surface agissent encore en même temps que les lames de vent. Le rapprochement des trois courbes en 1864 prouve qu'à cette époque, il y avait pour cette partie de la plage un véritable danger, atténué pourtant par la disposition de la courbe des basses mers.

L'orientation de la deuxième section est le S. 55° E. Cette direction passe par le mur du jeu de paume, elle aboutit de

l'autre côté au milieu de la grande passe. Comme direction et position, c'est ici que les lames de fond et de vent agissent avec le plus d'intensité. Sous leur action combinée avec celle des courants de flot et de jusant, on a les marches de l'érosion suivantes :

	Érosion annuelle. — Section A_2.				
	De 1730 à 1787	De 1787 à 1826	De 1826 à 1857	De 1857 à 1864	De 1864 à 1873
Ligne de basse mer. . .	1,48	0,92	0,71	0,71	0,95
Ligne de 3 mètres. . . .	»	1,64	1,57	1,57	0,50
Lgne de 6 mètres. . . .	»	3,84	2,40	2,40	−0,50

On voit dans ces chiffres que la marche de la ligne de basse mer a diminué depuis 1857 pour se relever de suite; le petit maximum correspondant aux dernières années est moindre que celui constaté dans la première période. Pour la ligne de 3 mètres, même résultat, ou pour mieux dire, résultat plus avantageux : la marche en avant n'est plus que le tiers de ce qu'elle était antérieurement, et enfin dans la ligne des 6 mètres on finit, après une série d'érosions considérables, par obtenir un recul en arrière de $0^m,50$ par an.

En présence des circonstances actuelles, c'est-à-dire de l'augmentation de protection, on peut donc dire que l'effet des lames de fond s'atténuera encore jusqu'à ne plus provoquer d'érosion sur les fonds de 3 mètres et que pareillement les courants de surface qui ne peuvent avoir de l'influence que sur une pente assez forte, cesseront, au bout d'un certain nombre d'années, de provoquer l'érosion de la plage.

Sur cette seconde section on trouve donc encore de l'amélioration au point de vue de l'érosion.

La troisième section A_3 de la partie Est va d'Artha au cadran solaire ; son orientation est le S.-E., c'est-à-dire qu'elle est bien ouverte aux lames des plus grands fonds,

ais la plage commence d'un autre côté à se trouver un eu à l'abri de la jetée du Socoa.

C'est, avons-nous dit antérieurement, le premier point le la plage où la lame du Nord-Ouest vient briser, ce qu'on 'explique d'ailleurs parce que la plage s'y trouve la plus roche des fonds de 6 mètres.

Le tableau correspondant à cette troisième section est le uivant :

	ÉROSION ANNUELLE. — SECTION A_3.				
	De 1730 à 1787	De 1787 à 1826	De 1826 à 1857	De 1857 à 1864	De 1864 à 1873
Ligne de basse mer. . .	1,33	0,66	1,22	1,00	2,10
Ligne de 3 mètres. . . .	»	1,14	1,56	2,00	1,30
Ligne de 6 mètres. . . .	»	4,16	2,13	4,00	4,00

L'avancement de la ligne de basse mer vers la terre arrive son maximum entre 1730 et 1787, puis vient une diminution et enfin, dans ces dernières années, un nouvel accroissement.

Pour la ligne de 3 mètres il y a accélération jusqu'en 1864, puis une petite diminution. Enfin pour la ligne de mètres la diminution constatée de 1826 à 1857 disparaît dans la dernière période 1864-1873.

Cette section n'offre donc pas un résultat satisfaisant si on la prend isolément; la ligne de 6 mètres s'avance très-vite, celle de zéro se porte aussi plus à terre; le premier effet est du aux lames de fond qui ne sont pas encore atténuées, et le second aux courants et aux lames de vent, mais il n'y a pas encore péril en la demeure, non-seulement parce que l'écartement des trois courbes est encore notable, mais aussi parce que celle de 3 mètres marche avec une rapidité d'un tiers moins grande qu'en 1864. La section n° 3 est néanmoins celle où l'on peut constater une apparence de danger. Lorsque les travaux seront achevés, la ligne de 6 mètres sera arrêtée depuis quelque temps, puis viendra

l'arrêt de la courbe de 3 mètres plus difficile à obtenir en même temps celui de la ligne de basse mer.

La quatrième section part du centre d'Artha, passe par le point A et se dirige de là sur l'église de Saint-Jean-de-Luz. Son orientation est le S. 36° E. Elle aboutit à un point de la côte qui se trouve très-exposé à la lame de fond, mais qui commence à être mis à l'abri de la lame de vent par le prolongement de la digue du Socoa.

Aussi nous trouvons dans le tableau suivant que l'érosion de la plaque va en diminuant; elle est nulle dans la dernière période :

	ÉROSION ANNUELLE. — SECTION A_4.				
	De 1730 à 1787	De 1787 à 1826	De 1826 à 1857	De 1857 à 1864	De [illegible]
Ligne de basse mer. . .	2,34	0,64	1,26	0,20	0,0[illegible]
Ligne de 3 mètres. . . .	»	1,05	1,81	3,50	0,[illegible]
Ligne de 6 mètres. . . .	»	1,92	1,00	8,00	6,[illegible]

La ligne de 3 mètres a son maximum d'érosion av[ant] 1864; elle est aujourd'hui arrêtée comme la première.

Quant à la ligne de 6 mètres, sa marche atteignait le chiffre considérable de 8 mètres en 1864; on n'a plus que 6m,20 en 1873, mais ce chiffre est encore énorme.

Pour atténuer cette érosion, il faut évidemment compter sur l'élévation d'Artha et le prolongement de la digue du Socoa; mais c'est une érosion due aux courants et aux grandes lames, et comme nous n'avons pas intérêt à diminuer les premiers, c'est aux seconds seuls que nous nous adresserons.

Arrivons maintenant à la section A_5 qui passe par le n° 9 du seuil de garantie de Saint-Jean; elle donne lieu au tableau suivant :

	ÉROSION ANNUELLE. — SECTION A_5.				
	De 1730 à 1787	De 1787 à 1826	De 1826 à 1857	De 1857 à 1864	De 1864 à 1873
Ligne de basse mer. . .	1,02	0,51	1,09	3,57	—1,00
Ligne de 3 mètres. . . .	»	1,07	1,62	2,43	2,01
Ligne de 6 mètres. . . .	»	0,25	1,78	1,00	9,44

La ligne de basse mer a eu son érosion maximum entre 1857 et 1864; un premier maximum s'était manifesté dans la période 1787-1826 sous l'abri des premiers travaux du Socoa, puis est venue l'érosion active due à la destruction de cette jetée ; puis enfin sa reconstruction à nouveau et son plus grand avancement au large ont occasionné non-seulement un arrêt, mais bien un recul en arrière.

La ligne de 3 mètres donne lieu à une observation analogue, quoique moins accentuée ; il n'y a pas arrêt, mais bien simple diminution de vitesse dans les neuf dernières années.

Enfin, pour la ligne de 6 mètres, dont la marche moyenne était très-lente, l'accroissement va non-seulement en grandissant, mais il se produit dans des proportions effrayantes ; il atteint $9^m,44$ par an. C'est plus que dans la section A_4 et plus qu'en aucun autre point. Doit-on s'en inquiéter? Non. La distance entre les trois courbes est encore en effet très-grande, la pente n'est que de 6 mètres pour 140 mètres, ou de $\frac{1}{23^e}$; l'avancée de la ligne de 6 mètres peut ne pas diminuer de quatre années sans qu'il y ait péril et enfin le danger, si danger il y avait, serait annoncé par la courbe de la basse mer, courbe qui nous indique au contraire que la plage s'étend au large. Cet effet tient à la fois au courant et à la lame de fond, surtout aux courants, puisqu'ils progressent seuls, et la limite de leur action du côté de la plage montre que leur force

qui se traduit ici si vivement ne pourra que s'atténuer fur et à mesure de l'érosion même.

Les mêmes conditions résultent de l'examen de la sixiè section qui passe par la cheminée de l'usine et par le c nal à l'est d'Artha.

	ÉROSION ANNUELLE. — SECTION A_6.				
	de 1730 à 1787	de 1787 à 1826	de 1826 à 1857	de 1857 à 1864	de 186[illegible] à 18[illegible]
Ligne de basse mer. .	0,89	0,51	0,61	5,30	— [illegible]
Ligne de 3 mètres au-dessous de 0.	»	0,54	1,66	1,66	[illegible]
Ligne de 6 mètres au-dessous de 0.	»	— 1,28	+ 1,45	— 3,40	[illegible]

La ligne de basse mer a pris, dans ces dernières ann un recul parfaitement accentué. La plage était rongée ch que année avant les travaux, et si l'on remarque que le de 1857 manque de sondes dans cette partie, on peut d que l'érosion était régulière avant 1864; à partir de ce époque, il y a, au contraire, un point de rebroussem qui serait plus brusque encore si nous considérions qu' réalité ce n'est qu'en 1867 qu'ont commencé les trav de la jetée du Socoa.

La ligne de 3 mètres a suivi ce mouvement de plus p que dans la section précédente; la marche à terre a en lité été arrêtée. Il n'en est pas de même de la ligne 6 mètres dont l'érosion s'élève presque aussi brusquem que précédemment; cela est encore dû à un effet combi de lame de fond et de courant, et donne une preuve nou-velle de la courbe suivie par le courant.

Enfin, vient la septième et dernière section dont le dé-tail est reporté ci-après :

	ÉROSION ANNUELLE. — SECTION A_7.				
	de 1730 à 1787	de 1787 à 1826	de 1826 à 1857	de 1857 à 1864	de 1864 à 1873
gne de basse mer. .	0,92	0	1,71	0	— 3,70
gne de 3 mètres au-dessous de 0.	»	0,25	1 84	4,00	— 4,70
gne de 6 mètres au-dessous de 0.	»	0,99	3,42	— 0,30	— 0,30

Nous voyons ici l'effet de recul prononcé de toutes parts. ligne de 3 mètres atteint le chiffre le plus considé-ble, mais il se montre aussi sur la ligne de 6 mètres. Si us reprenons maintenant, dans l'ensemble de ces sept ctions, les marches des lignes de basse mer et des fonds 6 mètres qui sont les caractéristiques de deux actions fférentes, nous voyons en marchant de l'Est à l'Ouest que nfluence des travaux fait passer l'érosion de la plage du aximum d'une marche en avant de 3 mètres à un recul us grand encore — 3,70 ; pour la courbe de 6 mètres, on rt d'un recul dans les deux premières sections, recul écédant, il faut le noter, à un avancement antérieur ra-ide, pour arriver successivement à une érosion annuelle orme de 9 mètres, puis de la sixième et de la septième ection, l'érosion change brusquement en un retour au ge.

Le danger n'existe donc que faible sur la plage, vis-à-de la ville, et s'il est encore apparent sur les courbes 6 mètres, le péril est fort diminué par le faible rayon courbure du maximum d'érosion, courbure correspon-te à une action du courant qui se limitera elle-même. pente de la plage n'offre d'ailleurs pas encore de danger elle peut augmenter quelque peu sans inconvénient (*).

(*) Nous avons voulu étudier dans la baie de Fontarabie, qui se trouve placée à l'ouest de Saint-Jean-de-Luz, l'effet de l'érosion sur la côte aux diverses lignes de profondeur, et nous avons tracé au bas de la carte n° 4 les profils résultant de la comparaison du

L'examen des courbes maxima d'érosion que nous avons portées dans la carte n° 5 va nous rassurer d'ailleurs plus complétement.

Le premier tracé donne les actions exercées annuellement de 1787 à 1826, lorsque la digue de Socoa et celle de Sainte-Barbe étaient encore en partie en place et offraient aux lames des résistances de moins en moins grandes.

Si l'on rapproche ce tracé du dernier donnant l'érosion annuelle dans la période 1864-1873 et correspondant par suite au cas où la digue du Socoa fonctionne seule, on reconnaît de suite une similitude d'effet correspondant à une action analogue. La courbe des maxima est plus tendue dans le second cas, le courant de Sainte-Barbe est

---

plan levé en 1826 et de celui qui a été levé par nous en 1866. Les sections vont de l'Est à l'Ouest, comme pour le premier plan; elles portent sur une partie composée des mêmes matériaux que la plage de Saint-Jean et ayant une exposition analogue.

Seulement, comme on ne se trouve pas ici en présence de digues plus ou moins avancées en mer et que le courant dérivé a un très-grand rayon de courbure, une grande masse et une faible vitesse, l'érosion est régulière et elle s'étend presque parallèlement à toutes les profondeurs. Cela nous donne, par cette raison même, une meilleure idée que la baie de Saint-Jean actuelle, de la puissance normale de la lame; l'effet produit doit ressembler davantage à ce qu'il était il y a un millier d'années dans l'anse où se jetaient La Nivelle et l'Oncin réunies et nous nous rappellerons un peu plus tard que l'érosion moyenne des trois premières sections nous donne aux différentes profondeurs les chiffres de:

	Érosion moyenne.
Niveau des basses mers	1,90
Ligne de 3 mètres	1,10
Ligne de 6 mètres	0,80
Ligne de 10 mètres	1,30

On voit qu'ici, sauf en ce qui concerne la ligne de 10 mètres, l'érosion va en décroissant au fur et à mesure que les fonds augmentent, et pour la ligne de 10 mètres peut-être la moyenne est-elle altérée par un tracé erroné de la ligne de niveau de la première section, puisque la moyenne des deux autres ne nous donnerait que 0,80, comme pour les fonds de 6 mètres.

donc plus fort, ce qui coïncide avec la destruction de la digue de Sainte-Barbe et explique aussi pourquoi, à l'ouverture de la baie, on a un recul plus rapide dans les grands fonds. Il est clair d'ailleurs que ce maximum d'action montre aussi la transformation du courant superficiel en courant de masse, du courant qui attaque d'abord la plage près des bains en un courant s'écartant sur les grands fonds.

Dans l'état intermédiaire 1826-1864, la lame opère partout également; la courbe, comme sur la côte des Landes, se réduit presque à une ligne droite et elle est assez difficile à tracer, le maximum n'est pas apparent.

Ne peut-on conclure de ces faits qu'un prolongement de la digue du Socoa doit faire transporter davantage dans l'Est la ligne neutre de 1873, diminuer encore le rayon de courbure du maximum constaté, et porter tout à fait à l'Est l'érosion, sur un point que l'on peut facilement défendre.

Pour compléter la comparaison des divers états de la baie de Saint-Jean, il resterait dans le même ordre d'idées à parler de la partie ouest de la plage de l'Oncin et des parages avoisinant le port du Socoa. Mais heureusement pour la longueur de cette étude, le phénomène est ici plus simple.

On se trouve en présence d'une côte qui, placée sous l'abri direct de la pointe et de la digue du Socoa, en subit si bien l'influence que chaque mètre de construction de jetée a un effet distinct et immédiat. La marche rétrograde de la plage sous l'action des lames est l'effet normal : les tracés de 1730, 1826, 1873 le prouvent surabondamment; mais cette action est une simple action de surface produite par une dérivation des lames et par le courant circulaire de la baie; dans les lignes inférieures, la protection de la baie donne un résultat diamétralement opposé.

Nous avons vu tout à l'heure dans le quatrième dia-

gramme que la ligne neutre se dirigeait vers l'extrémité de la jetée; elle laisse, par suite aujourd'hui, à gauche d'elle un espace considérable où il y a recul des lignes de niveau et comblement par les apports de la Nivelle et de la plage, par cela seul que les sables ne peuvent plus y être remués par les lames de fond. Aussi autrefois lorsque le Socoa était intenable pour les bâtiments, lorsque la lame déferlant sur les Criquas, trouvait à la suite de ces roches un sol mobile, elle en facilitait le déblai jusqu'à 8 mètres de profondeur donnant aux navires un grand fond, mais un mouillage peu abrité; aujourd'hui, on n'a plus de brisants sur les Criquas, mais cet ancien mouillage a disparu et la ligne de 6 mètres s'est reportée dans l'Est, de façon à donner, non plus une poche, mais une courbe régulière. C'est un effet général et non tout local qui en a déterminé le tracé.

La discussion des lignes de basse mer nous montrerait en même temps que vers Bordagain la plage a reculé, en 145 ans, de 115 mètres, sous l'influence d'une agitation superficielle (érosion moindre que sur la plage de Saint-Jean-de-Luz) et pendant la même période, nous ne trouvons qu'un recul de 80 mètres sur la plage de l'Oncin par la raison, toujours la même, que cette agitation superficielle y est moindre. Nous pouvons enfin faire remarquer que la position de l'embouchure de l'Oncin est également fonction de la longueur de la digue de Socoa, c'est-à-dire de la puissance des brisants des Criquas; si la digue est courte ou n'existe pas, cette embouchure va jusqu'à longer Bordagain ; la lame la pousse dans le sud, comme l'embouchure de l'Adour était actionnée également dans le Sud; lorsque la digue s'allonge, l'embouchure remonte au Nord et aujourd'hui, avec la longueur actuelle, sous l'influence de la rotation des courants, cette embouchure se trouve directement sous le Socoa.

Nous n'avons pas encore parlé de la courbe de niveau de 10 mètres qui est la caractéristique de ce qui se passe

dans les grandes profondeurs, les mouvements en sont représentés dans la carte n° 3. La ligne de 1867 figure parmi les plus avancées dans la baie, 1873 parmi les plus reculées.

La marche des grands fonds est ici encore tout à fait parallèle aux travaux des jetées du Socoa, mais s'exerce au bout d'un temps plus long; l'équilibre s'établit lentement. En 1787 les travaux viennent d'être arrêtés, la protection est médiocre pour le milieu du mouillage, puisque la digue du Socoa ne va qu'au niveau des basses mers; on a une étendue de fonds au-dessus de 10 mètres considérable, 52 hectares. Plus tard, et malheureusement nous sommes obligés de franchir l'époque où l'on eût signalé un minimum, plus tard, dis-je, en 1826 une partie des travaux était démolie, on a encore 22 hectares. Puis les digues continuant à être enlevées pierre par pierre, on retrouve 17 hectares en 1857, autant en 1864, mais un retour se fait avec la reprise des travaux et nous n'avons en 1873 que 21 hectares.

Ceci évidemment nous indique que l'avancement des travaux diminuera encore cette étendue et nous entrons ici dans un ordre de vues bien différent de ce qui nous a préoccupé jusqu'ici; nous parlions toujours des craintes que l'on pouvait avoir pour l'avenir de Saint-Jean et nous montrions que bien des raisons nous faisaient espérer que ces craintes étaient vaines et que la baie avait cessé de s'étendre.

Il s'agit d'un péril en sens inverse, de la destruction du mouillage. Le recul des lignes de fond de 6 mètres près du mouillage, la diminution de l'espace au-dessus de 10 mètres doivent-ils nous annoncer que dans un avenir prochain on n'aura plus à lutter contre l'envahissement de Saint-Jean-de-Luz par la mer, mais contre celui de la baie par des sables?

Surfaces et cubages. — Nous allons répondre par des

chiffres à ces préoccupations très-légitimes, plus légitimes, il faut dire, que les premières. Le tableau ci-joint donne les volumes d'eau de mer contenue dans toutes les parties de la baie à différentes époques. La baie intérieure dont il s'agit est bornée au sud par la laisse de basse mer de syzygie, et au nord par une ligne idéale qui part de l'extrémité des anciens travaux du Socoa, pour aboutir à l'enracinement de ceux de Sainte-Barbe. Nous devons ajouter que dans les chiffres de ces cubages nous avons fait intervenir toutes les sondes de la baie, ce qui pour les deux derniers levés donne une grande exactitude et que, pour celui de 1787, dont les sondes sont rapportées à un niveau de basse mer non défini (ce qui comporte une erreur de 20 centimètres sur la hauteur) la différence que cela peut donner sur le cubage réel de la baie atteint seulement le chiffre de 284.000 mètres cubes. Avant de conclure, nous n'oublierons pas que cet aléa peut exister sur le volume donné par le plus ancien de nos levés. Ajoutons enfin qu'en présence d'un phénomène d'érosion si apparent, d'une part, dans la partie droite de la baie, et du comblement de l'ancien mouillage; dans l'autre, nous avons cru devoir partager la baie en deux sections par une ligne Nord et Sud passant par la pointe des bains chauds de Bordagain, et nous avons donné séparément les chiffres des volumes et des surfaces de chaque section.

Baie de Saint-Jean-de-Luz. — *Surfaces et cubages.*

	FONDS de 0m à 3m.		FONDS de 3m à 6m.		FONDS de 6m à 10m.		FONDS au-dessus de 10m.		TOTAUX.	
	Surface.	Volume	Surface.	Volume.	Surface.	Volume.	Surface.	Volume.	Surface.	Volume.
	m. q.	m. c.	m. q.	m. c.	m. q.	m. c.	m. q.	m. c.	m. q.	m. c.
1787	165.000	240.000	174.500	795.120	158.500	267.220	279.750	3.424.520	777.750	5.726.900
1826	184.250	282.900	180.250	773.480	123.750	952.300	170.000	1.930.518	658.250	3.939.240
1857	211.750	302.570	204.740	849.160	142.250	1.135.200	197.748	2.318.300	756.500	4.605.240
1864	209.560	306.408	218.630	926.800	137.180	1.069.313	191.187	2.270.631	756.560	4.573.151
1873	256.060	390.010	187.620	830.170	152.680	1.276.150	146.030	1.736.019	741.800	4.232.360
1787	175.250	286.120	171.000	756.600	255.250	2.006.870	41.000	464.750	642.500	3.514.350
1826	144.500	228.440	166.500	752.206	272.500	2.074.462	51.000	537.771	634.500	3.592.880
1857	164.250	260.750	167.750	704.000	323.000	2.380.480	69.250	790.520	724.250	4.135.750
1864	142.310	211.390	148.750	690.470	346.870	2.689.875	78.750	900.500	716.680	4.492.230
1873	157.125	239.490	144.182	641.550	378.440	2.800.250	63.125	702.800	742.810	4.444.090

	TOTAUX.		ÉROSION au-dessus de 0.	SOMME.
	Surfaces.	Volume.	Volume.	
1787	1.420.250	9.241.250	»	9.241.250
1826	1.292.750	7.532.123	1.464.877	8.997.000
1857	1.480.748	8.740.988	662.012	9.403.000
1864	1.473.250	9.065.380	720.620	9.786.000
1873	1.484.610	8.676.456	863.544	9.540.000

Si nous regardons d'abord les surfaces, nous voyons que dans la partie de gauche, la surface comprise entre o et 3 mètres va constamment en augmentant : elle passe de 16 hectares à 25 hectares, tandis qu'il n'y a qu'une simple oscillation dans la partie de droite. Cet effet est évidemment produit, dans le premier cas, par l'action d'une agitation superficielle, et nous ne devons pas oublier que les courants de la Nivelle en occasionnent une de cet ordre qui doit persister d'autant plus que l'eau douce est plus abondante dans la rivière. Le ressac facilite l'action de ce courant.

Pour les surfaces de 3 à 6 mètres, il y a une diminution assez notable dans ces dernières années ; dans la première section, de 22 hectares environ, la surface passe à $18^{hect},7$, tandis que dans la partie de droite nous ne trouvons pour les neuf dernières années qu'une diminution insignifiante.

Les fonds au-dessus de 6 mètres subissent dans la partie de gauche, dans ces dernières années, une augmentation de surface qui les ramène presque à l'état de 1787; mais en revanche nous voyons que ceux de 10 mètres et au-dessus passent de 19 hectares à $14^h,60$, la compensation est loin d'être complète. A droite, de 1787 à 1873, nous passons de $25^h,50$ à $37^h,8$ pour les fonds de 6 à 10 mètres et de 4 hectares à $6^h.3$, pour les fonds au-dessus de 10 mètres; le résultat serait donc favorable pour les grands fonds, mais malheureusement, le mouillage en peut profiter faiblement, car cette partie est exposée à la lame du large.

La représentation graphique des volumes que nous donnons dans la Pl. 8, *fig.* 2, va nous permettre de suivre plus facilement leurs variations qui sont des plus intéressantes pour l'objet de nos recherches.

La courbe qui donne le volume des eaux de mer comprises entre la ligne de basse mer et celle de 3 mètres diffère peu d'une ligne droite parallèle à l'axe des x; dans ces dernières années il y a pourtant un petit accroissement. De 3 à 6 mètres le parallélisme existe encore jusqu'en 1826; à partir de cette époque, on constate des deux côtés de la baie une petite diminution, mais ces variations sont encore peu importantes.

Il en est autrement des volumes de 6 à 10 mètres et de ceux au-dessus de 10 mètres. Pour les premiers on trouve dans la partie de gauche une diminution lente jusqu'en 1826 suivie d'un accroissement lent; aussi en 1873 nous sommes à peu près revenus au volume de 1787. Les deux époques extrêmes ont en effet quelque analogie au point de vue des constructions, et nous avons vu que cette ressemblance apparaissait sur les courbes des maxima d'érosion. De l'autre côté de la baie la différence est manifeste ; le volume va constamment en croissant, ce qui peut s'expliquer encore puisque de 1787 à 1873 la destruction de la digue de Sainte-Barbe s'est faite pierre par pierre et qu'il n'en

reste plus aujourd'hui qu'un tronçon de 20 mètres. On aurait donc des deux côtés une amélioration des fonds du mouillage si le recul de la courbe de 10 mètres et la diminution correspondante des volumes ne venaient démentir cette amélioration.

Pour la rive gauche la chute est rapide : de 3.400.000 mètres cubes en 1787, le volume tombe à 1.700.000 mètres cubes en 1873 ; pour la rive droite il change peu.

En réunissant les volumes de 6 et 10 mètres, ceux que l'on peut appeler commerciaux, car ils représentent les fonds propres au mouillage, on trouve pour le côté gauche la série suivante :

Année	1787	4.691.000 mètres cubes.
—	1826	2.882.000
	1857	3.453.000
	1864	3.339.000
	1873	3.012.000

Ces chiffres montrent, d'une part que nous ne sommes pas encore descendus en 1873 à l'état accusé pour 1826, état qui n'a pas été le minimum, mais aussi que nous avons perdu 27.000 mètres cubes depuis 1864. En regardant les totaux généraux, on voit que la diminution du volume des eaux de la baie a été de 389.000 mètres cubes pendant la dernière période ; c'est donc sur les fonds du mouillage proprement dit que s'est produit l'ensablement.

Cette courbe des volumes de la baie, que nous trouvons dessinée dans la deuxième partie de la *fig.* 2, se présente avec la forme d'une sinusoide ; la branche descendante a son minimum apparent en 1826, puis sous l'action continue de l'érosion elle remonte jusqu'en 1864, pour redescendre ensuite avec la même rapidité qu'en 1787.

Ainsi l'érosion générale a été arrêtée deux fois, la première par deux digues construites sur les saillants de la baie dans des profondeurs faibles, la seconde par une seule jetée

s'étendant plus au large et par les blocs d'Artha; mais pour prévoir ce que la continuation des travaux peut accuser de nouvelle diminution de volume, il faut, non se rapporter uniquement au dernier effet constaté, mais penser aussi que l'érosion ne s'exerce pas seulement dans les fonds au-dessous du zéro des sondes, mais entraîne avec les plages, les dunes ou les terrains qui sont en arrière. Or, si pour le passé, la destruction a été continue, si elle a fait passer dans les fonds au-dessous de zéro, un cube de sable considérable, ne peut-il arriver que par suite de l'arrêt de la plage de 1873, arrêt que nous supposons devoir arriver à court délai, une bonne partie de ces matériaux ne vienne plus modifier cet équilibre constamment troublé et que la baie ne reste en somme dans l'état actuel? Nous avons pour cela calculé approximativement pour chaque période d'après les profils de 1823 et 1826 ce que le recul des deux plages, et l'érosion de Bordagain ont pu donner de matériaux, et en joignant à ces volumes ceux portés dans les totaux généraux, nous avons obtenu le tracé de la courbe supérieure.

Elle nous représente les modifications du volume ne dépendant plus de la baie elle-même, mais bien des actions extérieures, c'est-à-dire des entraînements des rivières et de l'apport de la mer. Nous voyons alors que ces deux dernières actions se sont montrées non-seulement faibles, mais nulles jusqu'en 1864; que les courants ou la lame, ici comme à Fontarabie, ont, en somme, une véritable puissance d'entraînement et que depuis 1864 seulement on a eu 240.000 mètres cubes d'ensablements produits par des matériaux étrangers à la baie (9.786.000 mètres cubes en 1864 et 9.547.000 mètres cubes en 1873).

Est-il possible de trouver trace de ces sables dans les cubages des fonds extérieurs? Nous avons essayé de le faire, en calculant le volume compris dans une zone s'étendant au large jusqu'à la limite de nos sondages de 1864 et de

1873, c'est-à-dire comprenant la coulée de sable qui se trouve sur l'alignement des deux pyramides de Sainte-Barbe. Les deux chiffres que nous avons obtenus par des étendues parfaitement égales, puisque les limites sont ou rocheuses ou idéales, 3.240.000 mèt. c. et 3.259.000 mèt. c., chiffres qui doivent être ramenés à 3.240.000 mètres cubes et 3.248.000 mètres cubes en soustrayant le cube des blocs jetés sur Artha, n'offrent pas une différence relative appréciable.

Si le sable jeté dans la baie vient du large, l'apport n'est pas brusque, mais continu, puisque après un coup de vent il n'y a pas de changement sensible.

Mais si un pareil entraînement était possible même en coup de vent, si la lame se chargeait ainsi de sable pris dans les grands fonds et les apportait à la côte, les modifications apportées de cette façon ne seraient pas particulières la baie de Saint-Jean. Or, nous avons dit qu'il y a des baies semblables sur la côte d'Espagne, que le port de Passage notamment est plus fermé qu'elle, qu'il est exposé aux mêmes tempêtes, et dans ce port qu'on dévase actuellement, on ne trouve pas de dépôt particulièrement marin, le brassiage diminue constamment, mais il diminue, non dans les grands fonds, mais dans les petits; les dépôts sont vaseux et non sableux, ils proviennent des rivières et non de la mer. Lorsque Saint-Jean-de-Luz sera fermé, les conditions relativement à la mer ne changeant pas, il y a bien peu de raisons pour que ce qui se passe au Passage ne se reproduise ici. On n'a donc en réalité à redouter que l'ensablement produit par la Nivelle et peut-être aussi celui provenant de la baie de Fontarabie (c'est-à-dire de la Bidassoa), qui peut cheminer lentement le long de la côte. Or, pour une période presque décennale nous voyons qu'il y a une masse annuelle de $\frac{260.000}{9} = 29.000$ mètres cubes apportée dans la baie; le danger est donc loin d'être effrayant.

Nous résumerons ce long chapitre en disant que sous l'influence des lames et des courants, le fond de la baie de Saint-Jean, comme celui de la baie de Fontarabie (comme la côte des Landes), est rongé rapidement.

Les actions énergiques que nous avons étudiées dans le premier chapitre provoquent dans la première de ces baies, lorsque aucune protection ne lui est donnée par des digues, une érosion annuelle de 59.000 mètres cubes.

A ces matériaux extraits de la baie, il faut ajouter ceux qui ne font qu'y *transiter* et qui proviennent, pour la plus grande partie, des alluvions entraînées l'hiver par les 100 millions de mètres cubes de la Nivelle.

La construction des digues du Socoa et d'Artha a fait changer de signe le mouvement en question ; l'érosion s'est transformée en remblai ayant une puissance annuelle de 29,000 mètres cubes et dont la majeure partie vient se déposer sur le côté gauche de la baie.

C'est un nouvel état d'équilibre qui est en train de se former; il nous reste à indiquer ce qu'il peut devenir et à présenter quelques vues sur le moyen de l'améliorer au point de vue de la navigation.

CHAPITRE IV.

AVENIR DE LA BAIE APRÈS L'ACHÈVEMENT DES DIGUES. AMÉLIORATIONS DE LA NIVELLE ET DU SOCOA.

Au mois de juillet de cette année, la digue neuve du ocoa était terminée sur une longueur de 285 mètres; il stait à en construire 50 mètres; les blocs destinés aux ndations étaient déjà placés sur une longueur de 25 à o mètres.

Pour Artha, on était moins avancé; d'après la comparai-n des sondes faites en 1864 et en 1873 (25 juin), il y avait e différence de cubage de 10.329 mètres, représentant, n le volume des matériaux jetés à la mer, mais bien ce i existait sur le rocher de mètres cubes de blocs utiles ur la fondation de la digue; l'excédant avait roulé en dans de la baie sous l'effort des lames.

Le travail de fondation d'Artha n'était ainsi achevé que s la proportion de 1/6ᵉ environ, tandis que la jetée du coa était terminée aux 5/6ᵉˢ.

Or, nous avons analysé dans les derniers chapitres les effets produits par cette dernière jetée à ces divers degrés d'avancement, et tout nous fait supposer qu'après l'achève-ment de la dernière section, les résultats seront semblables ceux qui se présentent aujourd'hui; nous pouvons donc tracer au moyen de parallèles la limite de protection qui era alors offerte dans le fond de la baie. C'est ce que nous avons fait sur la *fig.* 1, Pl. 8, en indiquant par des lignes de pointillés les parties actuellement en équilibre.

Pour Artha la difficulté est plus grande, précisément à cause du peu d'avancement des travaux; nous avons bien une protection réelle sur la courbe de 6 mètres donnée par le cône des enrochements, puisqu'elle a procuré un recul de toute la partie de l'est; mais sur la plage même, l'effet

produit est loin d'être aussi net parce que la lame de vent n'est pas supprimée.

Nous devons donc nous borner à transporter le point neutre de la lame de 6 mètres sur une ligne parallèle passant par l'extrémité Ouest de la digue d'Artha, et nous supposerons pour rester en deçà de la vérité qu'il n'y a pas ici, comme pour la jetée du Socoa, un angle supplémentaire de protection relatif à la laisse de basse mer. On voit qu'après l'achèvement des travaux il n'y aura réellement une érosion sensible annuelle que sur une fraction infiniment petite de la plage, ce qui assure la défense réelle de la ville.

Notons ici que le recul de la ligne de 6 mètres déterminé dans l'est par le jet des matériaux d'Artha, nous indique que les travaux de cette partie ont grand intérêt à être étendus dans l'ouest, *et actuellement, très-peu dans l'Est*; l'usure maximum du sol se fait vis-à-vis de la grande passe, c'est donc là qu'il y a intérêt à concentrer tous ses efforts en laissant *à l'avenir le soin d'indiquer si le travail dans l'Est doit être ou non repris.* Il est naturel, d'ailleurs, de marcher ici pas à pas, si l'on veut arriver à produire au moindre prix l'effet maximum.

Il y a, il est vrai, une partie de la plage de l'Est, celle qui commence à l'hôpital et s'étend jusqu'aux bains, qui continue à être rongée et dont la disparition pourra être accélérée par le fait même de la construction de la digue d'Artha; pour cette plage il y aurait quelque intérêt à voir terminer cette digue aussi bien dans l'Est que dans l'Ouest; mais ce sujet touche à une question très-grosse, aux courants qui naissent des brisants de la pointe Sainte-Barbe, au maintien du mouillage de la baie aussi bien qu'à la protection même de la ville, et deux solutions opposées peuvent être présentées.

Autrefois, avons-nous dit, le ressac qui se produisait à la chute des Criquas intérieurs donnait une fosse de 8 mètres, mouilage des bâtiments dans la baie. Ils y étaient

exposés à la mer du vent, à celle qui résultait des brisants des Criquas, ce qui rendait le mouillage précaire, mais la profondeur en était conservée.

Aujourd'hui, il n'y a plus en ce point ni ressac ni brisants spéciaux, mais aussi plus de fosse.

Si l'entrée de la baie était plus fermée qu'elle ne le sera après l'achèvement des travaux, nul doute qu'il ne puisse se déposer annuellement dans l'ouest, puis ultérieurement vis-à-vis des bains, une partie des 100,000 mètres cubes de vase et de sables qui descendent l'hiver à la mer avec les eaux de la Nivelle. Au bout d'un certain nombre d'années la baie redeviendrait ce qu'elle a dû être autrefois, l'embouchure commune à deux rivières; on verrait la vase exhausser le fond, comme elle fait au port du Passage, comme elle le tente déjà dans le port du Socoa (*).

(*) On peut essayer de déterminer, à l'aide de la valeur moyenne de l'érosion de la plage de Saint-Jean-de-Luz depuis 150 ans, l'époque où les deux rivières de l'Oncin et de la Nivelle se jetaient dans la mer, près d'Artha, c'est-à-dire le moment où la baie de Saint-Jean-de-Luz n'existait pas encore. Le calcul fait remonter au commencement du XIe siècle, si les conditions actuelles se sont maintenues depuis cette époque. Or nous savons qu'il n'en a pas été ainsi; le débit de la Nivelle a diminué et diminue encore, les marais intérieurs se sont comblés et les courants actuels de l'embouchure ne représentent plus qu'une faible partie de la force vive qui était en jeu deux fois par jour à l'entrée de la baie. Or, de cette intensité de courants dépend formellement aussi la valeur de l'érosion; si on la double ou si on la triple, la puissance de la lame vient se briser en flot contre des apports nouveaux venus de l'intérieur en jusant contre des courants intenses; et s'il a existé certainement un moment où la Nivelle affleurait la pointe du Socoa, où ce cours d'eau était navigable et voyait s'établir sur ses deux bords des huttes de pêcheurs, ce moment doit être beaucoup plus reculé que ne l'indique l'érosion moyenne depuis un siècle. Quoi qu'il en soit, il fut un temps, et l'on doit en trouver la trace dans les plus vieilles chroniques, où la rivière de Saint-Jean-de-Luz offrait le seul mouillage pour les navires, où la baie n'existait que comme un marécage s'étendant le long de l'Oncin et de la Nivelle. Ce n'est que par la diminution des eaux douces que la lame a pu acquérir ici une action prépondérante et faire avancer

Mais cet état, peu enviable, n'arrivera précisément pas à cause de la largeur laissée aux passes, et nous comptons, pour maintenir l'équilibre, sur le ressac de mauvais temps et sur des courants énergiques dont nous avons encore en partie la libre disposition.

En 1866, lorsqu'il s'agissait de construire la digue de Socoa, j'avais indiqué l'utilité de laisser une coupure de 30 mètres de largeur par les fonds de 4 mètres pour produire un courant d'une certaine intensité sur les Criquas. Ce courant aurait été aidé par suite de la modification de l'entrée de la Nivelle, qui consistait à rejeter les eaux dans l'Est. On eût ainsi pu déterminer un courant circulaire en sens inverse, assez fort en jusant pour produire le nettoiement des fonds du mouillage par aspiration. Comme complément, il eût été très-utile de supprimer une partie de l'effet des brisants de Sainte-Barbe en construisant sur la pointe une jetée basse.

Ce projet est complet, en ce sens, qu'il rejette les sables sur la plage attaquée, et toutes ses parties concourent au maintien de l'état actuel, mais de graves objections se présentent aussi contre son adoption. On conserve vis-à-vis du mouillage une agitation supertificielle gênante, les relations avec le Socoa seront souvent interrompues et le calme du port d'échouage sera compromis.

Ces considérations ont évidemment frappé l'esprit des

---

sans trêve la plage en détruisant successivement tous les ouvrages mis devant elle.

Dans un autre ordre d'idées, on pourrait se demander à quelle époque la ville actuelle de Saint-Jean devrait disparaître sous l'érosion si l'on n'avait pas exécuté les nouveaux travaux d'Artha et du Socoa. Ici, la période étant plus courte, les prévisions sont plus certaines. En 220 ans, c'est-à-dire vers l'an 2093 de notre ère, il ne resterait plus rien de la ville. L'église aurait disparu avant cette époque. Cette perspective n'était rien moins que séduisante pour les habitants, elle suffit pour prouver l'utilité des travaux actuels et pour engager à en presser l'exécution.

énieurs, puisqu'ils ont repoussé toute idée de coupure ns la jetée; cette coupure, du reste, aurait inquiété les rins, et pourtant, en demandant que sa largeur soit ée à 30 mètres, j'avais pris un *minimum*, car la solution meilleure eût été de laisser au niveau du sol des ouvertres d'une surface égale au plein de la maçonnerie, et cela squ'aux fonds de 4 mètres.

La digue du Socoa, étant construite pleine, a créé dans petit port du Socoa une tranquillité précieuse; mais pour e la baie de l'Ouest ne continue pas à se combler comme e le fait actuellement, pour qu'il y ait un équilibre sta-, il faut profiter du courant déterminé par la construc-n de la jetée, courant direct dont nous avons constaté ergie en mauvais temps, et l'accélérer encore quels qu'en ssent être les inconvénients. L'avant-projet des disposi-ns qui peuvent être prises pour cela se trouve teinté en e sur le même plan (*fig.* 1, Pl. 7).

On voit que la Nivelle s'y termine par une portion rbe qui rejette ses eaux dans l'Ouest, courbure indiquée a fois par le sens du courant sur la plage et par la di-tion de la lame. (Le courant de jusant des eaux de la ière doit être aussi incliné que possible sur la direction la lame pour arriver au *maximum* de profondeur à l'en-e, conformément à la loi que nous avons indiquée il y elques années.)

Comme, d'autre part, il n'y a pas ici intérêt à faciliter cheminement des sables le long de la plage, on ne lais-a aucune ouverture à l'enracinement de la jetée (*).

Je passe sous silence les dispositions qui pourraient être ises pour donner aux navires, dans l'intérieur de la Ni-elle, toutes les facilités réclamées aujourd'hui par le com-

(*) On pourrait reporter plus dans l'est l'embouchure de la Nivelle et obtenir ainsi de meilleures conditions, mais ce projet deviendrait beaucoup plus dispendieux.

merce, bassins à flot, etc.; les emplacements ne manque pas, mais ce serait trop m'écarter du sujet que j'ai en v que de parler de travaux dont l'urgence ne viendra qu' près la sécurité de la rade.

En poursuivant notre examen, nous sommes de nouv en présence de la plage de Saint-Jean qui, n'étant que p attaquée dans les conditions indiquées plus haut, va pe être se trouver de nouveau exposée si l'on augmente la for du courant circulaire.

Nous ne pensons pas que le péril soit grand; la Nivel une fois déviée, ne donnera en jusant qu'un courant d surface devant battre et ronger Bordagain avant de se tra former ou d'agir sur les parties inférieures près du mou lage; mais la sortie des eaux douces se faisant en deho de la ligne des basses mers et *à fortiori* de celle des m marées, l'entraînement sera de toutes façons peu sensible En tout cas, il faut compter sur la protection donnée pa le seuil de garantie. Si l'efficacité de ce seuil est, en réalité nulle vis-à-vis des érosions dues aux grandes lames qu atteignent les courbes de 6 mètres, il en sera tout autre- ment au niveau des basses mers, une fois que les travaux d'Artha seront suffisamment avancés; on peut donc ad- mettre que la mer calmée pourra venir baigner le pied de ce seuil et que le courant y trouvera un obstacle insur- montable. Ce seuil de garantie, disons-le en passant, mé- rite bien son nom, non-seulement parce qu'il oppose comme tous les travaux de ce genre, un obstacle à l'en- vahissement du sable, mais aussi parce que, dans les tem- pêtes, il protége les maisons placées derrière lui, maisons qui certainement eussent été depuis longtemps détruites si la mer eût battu directement leur pied en s'ouvrant un passage au sommet de la dune, et eût lancé dans l'intérieur de la ville des torrents d'eau.

Pour en revenir à la plage, la partie située entre l'hôpi- tal et les bains sera, comme nous l'avons indiqué, encore

exposée après l'achèvement partiel ou définitif de la digue d'Artha, et l'érosion pourra être assez dommageable pour qu'il y ait intérêt à la combattre. Mais la construction d'une digue sur la plage même serait beaucoup plus coûteuse que si elle était faite sur le plateau de Sainte-Barbe, avec les matériaux de l'ancienne digue (du Socoa) qui sont aujourd'hui à pied d'œuvre en dedans de la pointe. Cet épi aurait d'ailleurs une inclinaison calculée, non pour détruire le courant circulaire, mais pour le diriger parallèlement à la côte.

Il nous reste enfin à dire quelques mots du Socoa qui conservera toujours, quoi qu'il arrive, une importance sérieuse. Un port, fût-il d'échouage, lorsqu'on y trouve un repos absolu, rend toujours de grands services. Les inconvénients qui se présentent aujourd'hui tiennent, d'un côté à son étroitesse et de l'autre à l'accumulation des vases qui commence à s'y élever rapidement. Si le fond, de détestable, y est devenu excellent, il monte en revanche trop vite; mais ces désavantages peuvent être combattus facilement.

On peut doubler, cela va sans dire, la grandeur actuelle du port en reportant la digue du Sud au large, sans presque en augmenter la longueur. Mais ce travail serait incomplet si les fonds diminuaient chaque année dans l'intérieur. Le procédé dont on peut user pour y remédier consiste soit à faire déboucher l'Oncin dans le petit port (*), ce qui offrirait aujourd'hui peu de difficultés, soit à emmagasiner, dans la partie Nord du port et à haute marée au moyen d'une coupure éclusée donnant sur la mer du large, une quantité d'eau suffisante pour provoquer à marée basse des chasses dans les différentes parties du port.

En résumé, le grand travail en cours d'exécution a répondu pleinement aux espérances qui avaient été conçues.

(*) Cette dérivation a été proposée au siècle dernier.

Il n'est point terminé que déjà des navires viennent chercher dans la baie un abri pendant les coups de vent; le port du Socoa redouté à cause du ressac qui s'y faisait sentir, a conquis un calme parfait (*), l'érosion de la plage de Saint-Jean est à moitié enrayée. Il ne reste donc qu'à achever avec prudence ce qui a été si bien commencé et à conserver l'état d'équilibre qui aura été conquis. C'est à quoi il sera facile d'arriver en s'éclairant de la lumière que donne le passé.

24 décembre 1873.

(*) Au moment du dernier coup de vent, le ressac dans le port du Socoa a été peu sensible ; au moment de la pleine mer, la course de la lame n'a pas dépassé 1m,50 sur la grève (lettre de M. Minier, lieutenant de vaisseau, 6 janvier 1874).

N° 20

LE CANAL DE L'EST.

NOTE

Par M. MALÉZIEUX, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Parmi les travaux publics que l'État a entrepris dans ces dernières années et qui attestent le mieux que la France ne succombe pas sous le poids des difficultés qu'elle traverse, on peut, croyons-nous, citer au premier rang le canal de l'Est. Cette ligne navigable de 500 kilomètres de longueur s'exécute dans les conditions prévues par la loi du 24 mars 1874 (*). Commencée en 1874, elle présentait avant la fin de 1875, sur les 65 millions qu'elle doit coûter, 7 millions de dépenses faites, 14 millions de travaux adjugés et près de 13 millions à l'état de projets définitifs. On peut donc en parler dans un recueil qui a pour but principal de signaler des faits accomplis.

Nous indiquerons succinctement en quoi consiste cette grande entreprise et quelle suite a reçue l'intéressante combinaison financière par laquelle la loi de 1874 en a assuré l'exécution.

I. — Renseignements techniques.

Origine du projet. — Quand le traité de Francfort eut retranché du territoire français une partie du canal de la Marne au Rhin et du canal du Rhône au Rhin, l'Adminis-

(*) Voir *Annales* (Lois, décrets, etc.), 1874, p. 486.

tration se préoccupa, plus vivement qu'elle ne l'avait fait jusqu'alors, d'établir entre le canal de la Marne au Rhin et le bassin du Rhône une jonction nouvelle qui, s'opérant par la vallée de la Moselle ou par celle de la Marne, aurait sur l'ancienne le double avantage d'être plus directe et entièrement située sur le territoire national. Dès le 15 avril 1871, quand l'abattement de la défaite était si général encore, une décision ministérielle prescrivait d'étudier la jonction par la Moselle. C'est celle qui a été préférée.

La mutilation du territoire avait eu une autre conséquence pour le réseau des voies navigables et par suite pour notre industrie de l'Est. Dès avant la guerre, les établissements industriels de la Lorraine étaient dans la dépendance des houillères prussiennes ; et, bien qu'on eût récemment, au prix des plus louables efforts, découvert dans le département de la Moselle, en prolongement des couches de Sarrebrück, des gisements placés en dehors de la domination étrangère, nos ingénieurs étaient en train d'étudier, par le nord du département de la Meuse, une jonction entre la basse Moselle et la basse Meuse, entre le bassin minier de Nancy et le bassin houiller de la Belgique. Or, ce projet de jonction devint irréalisable à travers un pays perdu pour nous ; il fallait y pourvoir par une autre direction, en deçà de la nouvelle frontière : elle était tout indiquée par la vallée de la Meuse qui, de Givet, remonte vers Mézières, Sedan, Verdun, Commercy, jusqu'à la prairie de Pagny, où le canal de la Marne au Rhin passe par-dessus la rivière. En canalisant, en achevant de canaliser la Meuse de Givet à Sorcy et reliant, de Sorcy à Troussey, par une branche de 2 kilomètres, la rivière et le canal, on aura réalisé le projet nouveau dont l'étude a été prescrite par une décision ministérielle du 7 août 1871 : les houilles belges, empruntant le canal de la Marne au Rhin, arriveront directement de Troussey à Toul et à Nancy.

Entre ces deux lignes, de Givet à Troussey et de Toul à Saône, il y avait une connexité naturelle; le canal de la Marne au Rhin formait, de Troussey à Toul, un trait d'union de 20 kilomètres; on a donné le nom de *Canal de l'Est* à la ligne navigable de Givet à Port-sur-Saône.

Tracé. — Revenons un peu sur l'ensemble du tracé (*). On améliore la Meuse (à l'aide de barrages à fermettes et de dérivations éclusées) depuis Givet jusqu'au canal de la Marne au Rhin, savoir :

La basse Meuse en aval de Sedan, sur une longueur de	114	kilom.
La haute Meuse entre Sedan et Troussey, sur.	163	—
Total.	277	kilom.

Puis la grande ligne empruntera, comme nous l'avons dit, de Troussey à Toul, le canal de la Marne au Rhin, dont on portera le mouillage de $1^{m},60$ à 2 mètres.

Cet exhaussement du mouillage s'étendra d'ailleurs au delà de Toul, jusqu'à Jarville, extrémité orientale du grand bief de Nancy, soit en totalité sur 60 kilomètres, entre le bourg de Void et le village de Jarville.

La haute Moselle est déjà canalisée de Toul à Pont-Saint-Vincent (confluent du Madon), sur une longueur de	22	kilom.
On prolongera la canalisation jusqu'auprès de Golbey, à 3 kilomètres en aval d'Épinal, sur une longueur de.	60	—
Total.	82	kilom.

Alors vient le vrai canal à point de partage qui, s'infléchissant vers le sud-ouest à partir de Golbey, montera de 45 mètres vers le faîte des Vosges, le franchira sans souterrain près du village de Giraucourt, redescendra en côtoyant le Coney, puis, empruntant la Saône canalisée,

(*) Voir la Pl. 9.

aboutira finalement à Port-sur-Saône, après un parcours de 100 kilomètres.

La distance de Givet à Port-sur-Saône est ainsi de 480 kilomètres.

Deux embranchements à construire, l'un entre Messein et Jarville, de la vallée de la Moselle à celle de la Meurthe, l'autre entre Golbey et Épinal, complètent la longueur totale de 500 kilomètres environ.

Port-sur-Saône serait en ce moment une impasse. Mais, par la loi du 24 mars 1874, l'État s'est engagé à « terminer « dans la même période de temps (c'est-à-dire de 1874 à « 1882) les travaux en cours d'exécution sur la Saône, afin « de mettre cette rivière en état de recevoir la batellerie de « la nouvelle voie navigable », travaux estimés 9 millions.

Si l'on continue de descendre à partir de Port-sur-Saône on rencontre Gray, puis Saint-Symphorien, embouchure du canal du Rhône au Rhin. De Toul à Saint-Symphorien il y a, par Strasbourg et Mulhouse, 502 kilomètres et 241 écluses; il y aura, par le canal de l'Est, 332 kilomètres et 118 écluses, soit, en comptant une écluse pour un kilomètre, un raccourcissement de 63 p. 100. De Givet à Saint-Symphorien, il y aura, par l'Alsace, 798 kilomètres avec 315 écluses et, par le canal de l'Est, 628 kilomètres avec 192 écluses, soit un raccourcissement de 34 1/2 p. 100. Ces différences de parcours expliquent que des conseils généraux tels que ceux de la Côte-d'Or, du Rhône, du Gard, des Bouches-du-Rhône, étrangers aux localités traversées, aient acclamé le projet du canal de l'Est; c'est, à leurs yeux, la jonction de Lyon et de Marseille avec Liége et Anvers, de la Méditerranée avec la mer du Nord.

Profil en long. — Le grand bief dit *de la Meuse* ou *de Pagny*, par lequel le canal de la Marne au Rhin (*) passe sans écluses du bassin de la Meuse dans celui de la Moselle,

(*) Voir le profil en long que nous en avons donné naguère dans

— utilisant ainsi une trouée naturelle qui a dû primitivement conduire les eaux de la Moselle de Toul vers la basse Meuse, — ce grand bief formera bief de partage pour le canal de l'Est. Il est à 148 mètres au-dessus de Givet et à 39 mètres au-dessus de Toul. Toul et Port-sur-Saône sont exactement à la même altitude. Le bief de partage de Giraucourt est projeté à 154 mètres plus haut, à l'altitude de 361 mètres (*).

Les écluses auront généralement 3 mètres de chute.

Profil en travers. — Le canal de l'Est présentera, savoir :

1° Dans les parties en canal proprement dit, 10 mètres de largeur au plafond et 5^{m},20 d'ouverture d'écluses, comme sur le canal de la Marne au Rhin, mais 2 mètres de mouillage au lieu de 1^{m},60 (le tirant d'eau minimum devant être de 1^{m},80) et 40 mètres au lieu de 38^{m},10 pour la longueur des écluses de busc en busc ;

2° Dans les parties en rivière canalisée, 25 mètres de largeur minimum et généralement 2^{m},20 ou 2^{m},30 de mouillage.

La hauteur libre au-dessous des ponts, pour le passage des bateaux, est fixée à 3^{m},70.

Pouvant porter jusqu'à 275 tonnes, les bateaux navigueront économiquement.

Estimation. — L'estimation des dépenses, ramenée au kilomètre, se présente ainsi qu'il suit (**) :

---

les *Annales*, 1856, 1er sem., p. 133, Pl. 89 de la 3e série. — Ce bief a 18.656 mètres de longueur totale. Le mouillage étant porté à 2 mètres, le plan d'eau se trouvera à l'altitude de 246^{m},15.

(*) Le canal de la Marne au Rhin passe du bassin de la Marne dans celui de la Meuse à l'altitude (au plafond) de 278^{m},64 et du bassin de la Moselle dans celui du Rhin à l'altitude de. . . . . 264^{m},76

Le bief de partage du canal de Bourgogne est à l'altitude de 377^{m},50

(**) Voir le rapport présenté à l'Assemblée nationale, le 9 mars

	Millions.
Basse Meuse : 114 kilom. à 101.000 francs.	11 1/2
Haute Meuse : 163 kilom. à 117.000 francs.	19
Amélioration du canal de la Marne au Rhin : 20 kilom. à 112.500 francs. . . .	2 1/4
Canal de la Moselle à la Saône (*) : 180 kil. à 179.000 francs.	32 1/4
Total.	65

soit en moyenne 137.000 francs par kilomètre.

Trafic présumé. — Une évaluation par sections, consignée dans le rapport de la Commission de l'Assemblée nationale, porte le trafic probable du canal de l'Est à 460 millions de tonnes kilométriques, ce qui revient à un million de tonnes transportées à la distance entière. Néanmoins on n'a compté que moitié environ, soit 460.000 tonnes, dans les calculs qui ont servi de bases à la combinaison financière dont nous parlerons ci-après (**).

On s'attend à ce que les houilles belges entrent en France par le canal de l'Est en quantité presque égale à celles qui entrent par le canal de la Sambre à l'Oise. Elles pourront aller faire concurrence jusque dans la Haute-Saône aux houilles de la Loire. Mais c'est principalement vers Nancy qu'elles se porteront, vers ce riche bassin qui renverra en échange ses minerais de fer surtout, sans compter la fonte et les produits des belles salines des environs de Saint-Nicolas. Dans le même mouvement de retour seront compris les bois, les pierres de taille et les céréales

1874, par M. Krantz, au nom de la Commission d'enquête des chemins de fer et autres voies de transport, commission à laquelle avait été renvoyé le projet de loi relatif au canal de l'Est.

(*) Non compris la portion de Toul à Pont-Saint-Vincent, mais y compris les embranchements de Nancy et d'Épinal.

(**) D'après des renseignements qu'a bien voulu nous donner l'ingénieur en chef du canal de la Marne au Rhin (M. Volmerange), le trafic moyen de ce canal, que le traité de 1871 a si malheureusement coupé en deux, s'est encore élevé à 516.000 tonnes en 1875.

du département de la Meuse, les bois et les ardoises du département des Ardennes.

L'échange qui s'opérera entre les bassins de la Moselle et de la Saône paraît moins bien défini. Ce que l'on attend surtout, ce sont les vins de la Bourgogne venant s'échanger contre des matériaux de construction dans les Vosges et contre de la fonte sur les rives de la Moselle ou de la Meuse.

Une circonstance particulière à noter ici, c'est que les transports ne semblent pas devoir être beaucoup moins considérables dans un sens que dans l'autre : circonstance très-heureuse au point de vue du *prix de revient*, qui, en dehors du péage, ne dépassera peut-être pas $\frac{3}{4}$ de centime par tonne et par kilomètre (*).

II. — RENSEIGNEMENTS FINANCIERS.

Voies et moyens. — On ne pouvait songer, ni en 1871 ni même en 1874, à demander au budget de l'État les 65 millions nécessaires à l'exécution du canal de l'Est. On désirait pourtant qu'il se construisît dans un délai, relativement court, de huit années au plus. On recourut à un moyen qui précédemment, et dans des temps plus heureux, avait permis de créer le canal des houillères de la Sarre (**), le canal de Vitry à Saint-Dizier (***), la canalisation de la basse Moselle (****), etc., moyen consistant à avancer les fonds à l'État, qui les rembourse, avec les intérêts à 4 p. 100, par

(*) Sur les lignes navigables de Paris à la frontière de Belgique, on estime que 4 bateaux sur 5 retournent complétement à vide.

Voir, relativement au prix de revient des transports sur les canaux du Nord, une publication récente et justement remarquée de M. L. Molinos, ingénieur civil : *la Navigation intérieure de la France, son état actuel, son avenir.* — Paris, J. Baudry, 1875.

(**) Loi du 20 mai 1860 (*Annales* 1860, p. 364).

(***) Loi du 15 avril 1865 (*Annales* 1865, p. 153).

(****) Loi du 31 juillet 1867 (*Annales* 1867, p. 492).

des annuités. Un concert s'établit à cet effet entre les cinq départements que traversera le canal de l'Est, savoir : les Ardennes, la Meuse, Meurthe-et-Moselle, les Vosges et la Haute-Saône. Usant du droit créé par le titre VII de la loi de décentralisation du 10 août 1871 (*), les cinq conseils généraux se constituèrent en syndicat. Ils nommèrent, pour diriger l'opération, une commission de dix membres, qui choisit pour président M. Varroy, ingénieur des ponts et chaussées, président du conseil général et député de Meurthe-et-Moselle (**).

Il était certain que le syndicat ne pourrait pas emprunter, comme autrefois, à 5 p. 100 ; on devait compter sur environ 2 p. 100 en sus des 4 p. 100 payés par l'Etat. Du reste, la loi du 24 mars 1874 interdit d'emprunter à plus de 6 p. 100. De là un écart, un déficit, dont le syndicat entendit se couvrir par deux procédés :

1° Par un péage de 5 millimes sur chaque tonne kilométrique des marchandises que transportera la nouvelle voie navigable ;

2° Subsidiairement, par une garantie pour laquelle on ferait appel à des souscriptions volontaires auprès des villes et des communes de la région intéressée, parmi les industriels, les négociants, les propriétaires, les patriotes enfin, car on ne saurait méconnaître que le sentiment patriotique, surexcité au lendemain de nos désastres, n'ait contribué pour une bonne part à la popularité et au succès de l'entreprise dans les départements de l'Est.

La perception d'un *péage* ne se liait ici à aucune idée de spéculation ou de bénéfice éventuel. Il était entendu : 1° qu'elle cesserait dès qu'elle aurait produit « la somme « nécessaire pour couvrir, en capital et intérêts au taux de « l'émission de l'emprunt, l'écart résultant de la différence

(*) Voir *Annales* 1871, p. 426.
(**) Aujourd'hui sénateur.

« des taux de l'intérêt, ainsi que les frais relatifs à l'em- « prunt et généralement tous autres frais accessoires »; 2° qu'elle ne pourrait, en aucun cas, se prolonger au delà de 28 ans à partir du 1er janvier qui suivra l'achèvement des travaux. — C'est dans ces termes que le péage a été autorisé par la loi de 1874. Il comprendra d'ailleurs les droits de navigation, dont l'État a fait abandon pour toute la durée de l'amortissement, c'est-à-dire pour la période de 1882 à 1902.

Il nous reste à faire connaître ce qui est advenu pour l'emprunt et pour la garantie.

Emprunt. — Par un traité signé le 25 décembre 1874, le Crédit foncier de France, — seul en nom, mais assisté de huit autres établissements de crédit (le Crédit industriel et commercial, la Société de dépôts et comptes courants, etc.),— s'est engagé à verser au trésor public, pour le compte de la commission syndicale, à des échéances fixées pour chaque versement partiel et échelonnées du 1er janvier 1875 au 15 novembre 1881, la somme totale de 65 millions. Le mode de remboursement stipulé, à la charge du syndicat, est tel que, tous comptes faits, l'emprunt correspond à un taux d'intérêt de 5,87 p. 100. La limite imposée par la loi de 1874 a donc été observée. M. le président de la commission interdépartementale ajoute, dans un de ses rapports aux cinq conseils généraux, que si l'on déduit les charges correspondantes aux impôts et aux frais accessoires (lesquelles sont évaluées à 0,49 p. 100), le taux net de l'emprunt ressort à 5,38.

Il serait sans intérêt de dire ici que, pour faire face (notamment) aux engagements à terme qu'il venait de prendre vis-à-vis du syndicat, le Crédit foncier a émis, les 5 et 6 janvier 1875, au prix de 452f,50 l'une, 200.000 obligations rapportant 20 francs d'intérêt annuel et prenant part annuellement à quatre tirages dont chacun comprend

200.000 fr. de lots. On ne peut contester ni l'attrait de ces tirages et la faveur qui en résulte pour les émissions faites par le Crédit foncier, ni le puissant intérêt qu'avait le syndicat à assurer l'exécution du canal en traitant immédiatement pour la totalité de l'emprunt. Cependant les ingénieurs du service, qui ont été appelés (conformément aux statuts) aux réunions de la commission syndicale, en sont encore à douter si le syndicat, — procédant lui-même et sans intermédiaire à des émissions partielles successives de son emprunt dans la région traversée par le nouveau canal, et trouvant, pour le placement de ses obligations, un auxiliaire zélé dans chacun des *garants* dont nous parlerons tout à l'heure, — n'eût pas réussi à se procurer plus économiquement le capital requis.

Ces détails, qui nous entraînent, paraîtront peut-être un peu longs. Mais, à défaut d'autre intérêt, s'ils laissent entrevoir sous quelle variété de formes s'est multiplié le zèle intelligent de nos camarades de l'Est, au profit de l'œuvre qu'ils ont si énergiquement prise à cœur, notre but de chroniqueur sera atteint.

De la garantie. — Il est un dernier point sur lequel nous avons obtenu des renseignements, et nous tenons à les consigner ici.

Si assuré que puisse aujourd'hui paraître l'avenir, on peut concevoir des éventualités qui entraveraient la construction ou l'exploitation du canal de l'Est, qui diminueraient ou retarderaient tout au moins le produit à attendre du péage. Le syndicat a-t-il réussi à trouver des garants? Quel est le poids de la responsabilité répartie entre eux? Les habitants des cinq départements traversés ont-ils montré une égale confiance, un empressement égal à souscrire ces actions de garantie, ces *actions de dévouement*, comme disait le rapporteur à l'Assemblée nationale? Quelles sont enfin les localités ou les industries qui, dans cette voie de

sacrifices possibles, se sont le plus résolûment mises en avant?

La garantie consiste à parfaire, s'il y a lieu, le produit annuellement attendu du péage, durant les vingt années de l'amortissement. Or, ce produit est de $0^{f},005 \times 460.000^{t} =$ 2.300 fr. par kilomètre, ou 2.300 f. $\times$ 500 kil. = 1.150.000 f. pour le canal entier. En supposant, comme le syndicat l'a fait d'abord, la garantie divisée en 500 parts, le risque inhérent à chacune d'elles, pour chacune des vingt années, eût été de 2.300 francs au maximum, puisque cela suppose nul le produit du péage. Mais le nombre des garants s'élève dès aujourd'hui à 1895, et le risque maximum se trouve conséquemment réduit à 2.300 fr. $\times \frac{500}{1895} = 607$ fr.

Quant au mode de répartition des parts de garantie, par départements et par industries, il est indiqué dans le tableau suivant :

DÉPARTEMENTS.	Villes et communes.	Industries métallurgiques.	Bois.	Vins, bière.	Grains, meunerie, féculerie.	Carrières, salines.	Produits chimiques. Tanneries, verreries.	Tissus, filatures.	Transport, entrepôt.	Divers.	Total.
Ardennes.	82	250	11	6	5	1	10	7	3	35	410
Meuse.	62	58	37	12	4	27	10	7	55	15	287
Meurthe-et-Moselle.	171	276	30	13	18	63	55	3	32	55	716
Vosges.	182	18	8	8	16	2	8	34	»	34	310
Haute-Saône.	108	1	2	12	12	»	1	1	3	32	172
Totaux. . . .	605	603	88	51	55	93	84	52	93	171	1.895

La liste de souscription reste ouverte d'ailleurs, et l'on ne doute pas que d'autres noms honorables viennent s'inscrire sur ce « Livre d'or » de la région de l'Est.

III. — Résumé.

Ainsi le syndicat des cinq départements a pu emprunter, dans les conditions fixées par la loi du 24 mars 1874, les 65 millions dont il doit faire l'avance à l'État pour l'exécution du canal.

Il y a, par suite, tout lieu de croire qu'en 1882 une nouvelle ligne, d'environ 500 kilomètres de longueur et 1m,80 de tirant d'eau, se trouvera ajoutée au réseau des voies navigables de la France, — une ligne appartenant à l'État, qu'il aura la charge d'entretenir, mais qu'il administrera librement, au mieux des intérêts du pays, sous la seule réserve de deux restrictions temporaires : 1° abandon de tous droits de navigation durant la période de remboursement des fonds avancés par le syndicat ; 2° faculté laissée au syndicat de percevoir, sur les transports du nouveau canal, un péage de 5 millimes par tonne kilométrique, jusqu'à ce qu'il soit couvert du déficit produit par les pertes d'intérêt pendant la période de construction. — Cette perception cessera en tous cas après 28 ans, c'est-à-dire en 1910 au plus tard.

L'opération va donc présenter trois périodes successives :

1° Période de construction, de 1874 à 1881, pendant laquelle le Crédit foncier verse au trésor public les fonds que le ministre en fait sortir pour les mettre à la disposition des ingénieurs. Le syndicat transfère chaque année au Crédit foncier (par une simple délégation) les intérêts à 4 p. 100 que l'État lui sert. Il encaisse, administre, fait valoir les recettes perçues sur les sections successivement ouvertes à la navigation ;

2° Période de 20 ans, de 1882 à 1901, pendant laquelle le syndicat livrera chaque année au Crédit foncier, d'une part une annuité de 4.752.248 francs versée par l'État ; d'autre part, une somme de 1.050.000 francs, représentant,

ı 100.000 francs près (*), le produit garanti d'un péage de ; millimes sur un trafic de 460.000 tonnes et un parcours le 500 kilomètres;

3° Période de 8 ans, de 1902 à 1909, pendant laquelle le syndicat ne recevra plus rien de l'État, mais percevra encore le produit du péage, s'il ne se trouve pas déjà intégralement remboursé; il continuera d'ailleurs à verser annuellement 1.050.000 francs au Crédit foncier s'il n'a pas remboursé cet établissement par anticipation.

Dès à présent, le syndicat est garanti contre toute perte par 1895 signatures d'une solvabilité bien constatée, signatures de villes, de communes, d'industriels, de négociants, de cultivateurs, entre lesquels se dissémine le faible risque encouru.

Grâce à cette sécurité si complète, que ne trouble aucune préoccupation budgétaire, les projets du canal s'achèvent et les travaux marchent. L'état d'avancement se résumait ainsi qu'il suit au 1er novembre 1875 :

ésignation des sections.	NOMBRE de kilom.	PROJETS approuvés et adjugés.	PROJETS approuvés et non encore adjugés.	PROJETS soumis à l'administration supérieure.	PROJETS restant à fournir.	DÉPENSES faites.
		francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
ion. Département Ardennes.	145	6.353.649,67	3.119.000	1.070.000	2.738.000	3.216.000.00
ion. Département a Meuse.	135	5.784.514,02	1.050.000	2.570.000	8.146.000	1.692.067,00
de la Marne au	50	»	41.750	567.500	1.690.750	176.000,00
ion. Département Meurthe-et-Moselle.	73	2.169.453,54	»	»	6.150.000	1.880.436,39
tion. Département Vosges.	48	»	3.568.000	»	14.721.500	154.500,00
tion. Département la Haute-Saône. .	56	»	272.000	»	5.090.000	43.000.00
Totaux.	507	14.307.617,23	8.050.750	4.207.500	38.536.250	7.162.003,39

(*) Le Crédit foncier a consenti à un rabais de 100.000 francs sur l'annuité que le syndicat avait le droit d'aliéner pendant les 28 années : la *garantie* se trouve donc diminuée d'autant.

Le personnel chargé de l'exécution des travaux comprend onze ingénieurs ordinaires, quatre ingénieurs en chef, enfin un ingénieur en chef directeur, — dont le nom restera indissolublement lié à la conception et à la réalisation du canal de l'Est, — M. Frécot (*).

Paris, le 31 décembre 1875.

(*) Par décret en date du 12 janvier 1876, — et sur la proposition de M. Caillaux, ministre des travaux publics, — M. Frécot vient d'être élevé au grade d'Inspecteur général des ponts et chaussées.

N° 21

DÉTERMINATION GRAPHIQUE
DES MOMENTS DE FLEXION
'UNE POUTRE A PLUSIEURS TRAVÉES SOLIDAIRES

Par M. G. FOURET, ancien élève de l'École polytechnique,
Membre de la Société philomathique.

EXPOSÉ.

Dans les projets de ponts métalliques à poutres droites t à plusieurs travées, l'opération fondamentale est, comme n sait, celle qui a pour objet la détermination des moments de flexion des poutres sur leurs appuis. On emploie habituellement, pour y parvenir, la relation connue sous le nom de *théorème des trois moments*, qui consiste en une équation linéaire entre les moments fléchissants sur trois appuis consécutifs. En observant que les moments sur les appuis extrêmes sont nuls, le théorème fournit autant d'équations qu'il y a d'appuis intermédiaires, c'est-à-dire d'inconnues, et la résolution du système d'équations ainsi obtenu conduit aux moments fléchissants cherchés. Les nombreux et importants travaux qui ont été faits sur ce sujet semblent avoir ramené à la plus grande simplicité possible le calcul des moments de flexion ; et cependant, tout en mettant à profit l'économie procurée par les méthodes actuelles, les calculs à effectuer sont encore très-laborieux, dès qu'il s'agit d'un pont à plus de trois travées, surtout si ces travées sont inégales. De plus, des erreurs peuvent facilement se glisser dans ces calculs, et comme

on ne possède aucun moyen de contrôle suffisamment sim-
ple, pour les reconnaître dans le cours des opérations, o
est exposé à recommencer souvent plusieurs fois.

Les procédés géométriques que nous allons expos
ici (*), pour la détermination des moments fléchissan
sur les appuis d'une poutre droite, présentent sur les mé
thodes de calcul le double avantage d'être plus expédi
tives et de donner lieu à des moyens de vérification fo
simples. Nous donnerons successivement deux méthodes
une première méthode de fausse position, moitié arithmé
tique, moitié graphique, et une deuxième méthode direct
purement géométrique. C'est surtout cette dernière q
jouit des avantages que nous venons de signaler, tant a
point de vue de la rapidité des opérations que de la vérifi
cation des résultats.

CHAPITRE Ier.

MÉTHODE DE FAUSSE POSITION.

Cette méthode est fondée sur le lemme suivant que nous
allons tout d'abord établir.

Lemme. — Lorsque deux points M et N (*fig.* 4) se meu-
vent respectivement sur deux droites (A) et (B), de manière
que leurs distances x et y à des origines fixes A et B situées
sur ces droites soient constamment liées par une relation
linéaire

$$\alpha x + \beta y = \gamma, \qquad (1)$$

les positions simultanées des deux points mobiles déter-

(*) Cette question a déjà fait l'objet d'une courte note présentée
à l'Académie des sciences le 1er mars 1875 (*Comptes rendus*,
t. LXXX, p. 550). — Voir également sur le même sujet une note
de M. Maurice Lévy, dans le même volume, p. 749.

ninent sur (A) et (B) des divisions proportionnelles; et si es dernières droites sont parallèles, les droites joignant es positions correspondantes des deux points mobiles concourent en un même point dont les distances à (A) et à (B) sont dans un rapport égal à $-\frac{\beta}{\alpha}$.

En effet, de la relation (1) on tire

$$\alpha\left(x-\frac{\gamma}{\alpha}\right)+\beta y=0;$$

d'où

$$(2)\qquad \frac{x-\frac{\gamma}{\alpha}}{y}=-\frac{\beta}{\alpha}.$$

Sur la droite (A) ou Ax, prenons à partir de l'origine A une longueur $AA_1=\frac{\gamma}{\alpha}$. En portant sur (A) et (B) respectivement deux longueurs $x=AM$, $y=BN$, vérifiant la relation (1), on a évidemment

$$x-\frac{\gamma}{\alpha}=-A_1M,$$

et la relation (2) peut s'écrire

$$\frac{A_1M}{BN}=\frac{\beta}{\alpha}.$$

Par suite, si les droites (A) et (B) sont parallèles, M et N déterminent constamment sur ces droites, à partir des points A_1 et B, des segments proportionnels; d'où il résulte, en vertu d'un théorème de géométrie élémentaire bien connu, que la droite MN rencontre A_1B en un point fixe O, en d'autres termes que la droite reliant constamment les deux points mobiles, pivote autour d'un point fixe.

Soient OE et OF les distances du point O aux droites (A)

et (B) : OE et OF étant des hauteurs correspondantes dans les deux triangles semblables A_1OM, BON, on a

$$\frac{OE}{OF} = \frac{A_1M}{BN} = \frac{\beta}{\alpha},$$

ce qui, en ayant égard aux signes, démontre la seconde partie du lemme.

On peut remarquer, en outre, que la parallèle à (A) et à (B) menée par le point O, partage AB dans le rapport $\frac{\beta}{\alpha}$, c'est-à-dire que D étant le point d'intersection de cette parallèle avec AB, on a

$$\frac{AD}{BD} = \frac{\beta}{\alpha}.$$

En sorte que le rapport ρ suivant lequel le point D divise AB est déterminé par la relation

$$\rho = -\frac{\beta}{\alpha},$$

ou

$$\alpha\rho + \beta = 0,$$

le rapport étant positif ou négatif suivant que le point O est situé en dehors ou en dedans des deux parallèles (A) et (B). On voit encore, d'après ce qui précède, que ρ est égal à la valeur-limite de $\frac{x}{y}$, lorsque ces deux variables croissent indéfiniment, sans cesser de vérifier la relation (1). Ces remarques vont nous être utiles.

Exposé de la méthode. — Considérons une poutre droite composée de n travées de portées quelconques l_1, l_2.... l_n, reposant librement sur $n+1$ appuis de niveau A_0, A_1, A_2....., A_n, et chargées de poids uniformément répartis, p_1, p_2....p_n.

Désignons par μ_0, μ_1, μ_2..... μ_n les moments fléchissants sur les appuis.

On a entre ces $n+1$ moments les $n-1$ équations

$$(3)\left\{\begin{array}{l} l_1\mu_0+2(l_1+l_2)\mu_1+l_2\mu_2=\frac{1}{4}p_1l_1^3+\frac{1}{4}p_2l_2^3, \\ l_2\mu_1+2(l_2+l_3)\mu_2+l_3\mu_3=\frac{1}{4}p_2l_2^3+\frac{1}{4}p_3l_3^3, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ l_i\mu_{i-1}+2(l_i+l_{i+1})\mu_i+l_{i+1}\mu_{i+1}=\frac{1}{4}p_il_i^3+\frac{1}{4}p_{i+1}l^3_{i+1}, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ l_{n-1}\mu_{n-2}+2(l_{n-1}+l_n)\mu_{n-1}+l_n\mu_n=\frac{1}{4}p_{n-1}l^3_{n-1}+\frac{1}{4}p_nl_n^3. \end{array}\right.$$

En remarquant que μ_0 et μ_n sont nuls, le système des $(n-1)$ équations (3) déterminerait $\mu_1, \mu_2 \ldots \mu_{n-1}$. Mais au lieu de résoudre ce système d'équations, imaginons que laissant μ_0 nul, nous donnions à μ_1 une valeur arbitraire $\mu_1 = A_1R_1$ (*fig.* 5). Cette valeur, substituée dans la première des équations (3), permettra d'en tirer une valeur de μ_2 : $\mu_2 = A_2R_2$. En substituant ces valeurs de μ_1 et de μ_2 dans la seconde équation (3), on en tirera une valeur $\mu_3 = A_3R_3$; et ainsi de suite de proche en proche, de telle sorte qu'ayant obtenu des valeurs de μ_{n-2} et μ_{n-1}, la $(n-1)^{ème}$ équation (3) déterminera une valeur correspondante de μ_n : $\mu_n = A_n R_n$. Si la valeur prise arbitrairement pour μ_1 était effectivement celle qui convient à l'équilibre de la poutre, nous arriverions finalement à une valeur nulle pour μ_n. En général, il n'en sera pas ainsi ; mais les valeurs d'essai calculées, et portées dans un même sens sur les verticales des appuis correspondants, serviront à construire très-simplement les valeurs exactes des moments fléchissants.

Remarquons à cet effet que μ_0 étant toujours supposé nul, les $i-1$ premières équations fourniraient $\mu_1, \mu_2 \ldots \mu_{i-1}$, en fonction linéaire de μ_i, les coefficients de μ_i étant d'ailleurs indépendants des charges $p_1, p_2 \ldots, p_{i-1}, p_i$. L'expression de μ_{i-1} en fonction de μ_i étant ainsi obtenue, en la

portant dans la $i^{ème}$ équation (3), nous transformerions cette dernière en une relation linéaire entre les deux seules variables μ_i et μ_{i+1}, semblable à la relation (1), dans laquelle les coefficients de ces variables dépendraient des longueurs des $i+1$ premières travées, mais nullement des charges qu'elles supportent. Par conséquent, et en vertu du lemme précédemment démontré, lorsque μ_i et μ_{i+1} varieront simultanément par le fait de la variation de μ_1, la droite $R_i R_{i+1}$ pivotera autour d'un point fixe O_{i+1}.

Pour achever de déterminer ce pivot, cherchons le rapport $\rho_i = \frac{A_{i+1} D_{i+1}}{A_i D_{i+1}}$; suivant lequel la verticale $O_{i+1} D_{i+1}$, qui y passe divise la $(i+1)^{ème}$ travée. Suivant la remarque faite précédemment à la suite de la démonstration du lemme, ρ_i est égal à la limite de $\frac{\mu_{i+1}}{\mu_i}$, lorsque les deux variables μ_i et μ_{i+1} croissent indéfiniment, sans cesser de vérifier la relation linéaire qui les lie. Les rapports analogues ρ_1, $\rho_2 \ldots \rho_{n-1}$, relatifs aux deuxième, troisième, ...$n^{ème}$ travées, seront donnés pareillement chacun par les limites vers lesquels tendent les rapports $\frac{\mu_2}{\mu_1}, \frac{\mu_3}{\mu_2}, \ldots \frac{\mu_n}{\mu_{n-1}}$, lorsque $\mu_1, \mu_2, \mu_3 \ldots \mu_{n-1}, \mu_n$ croissent indéfiniment, en vérifiant les relations linéaires qui les lient une à une, ou les équations (3) qui sont équivalentes à ces relations.

En conséquence, divisons les deux membres des équations (3) respectivement par $\mu_1, \mu_2 \ldots \mu_{n-1}$, et faisons croître indéfiniment ces dernières quantités ainsi que μ_n; les équations (3) deviendront à la limite, en changeant les signes des rapports ρ,

$$-2(l_1 + l_2) + l_2\rho_1 = 0,$$
$$\frac{l_2}{\rho_1} - 2(l_2 + l_3) + l_3\rho_2 = 0,$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$\frac{l_i}{\rho_{i-1}} - 2(l_i + l_{i+1}) + l_{i+1}\rho_i = 0,$$

. . . .

$$\frac{l_{n-1}}{\rho_{n-2}} - 2(l_{n-1} + l_n) + l_n\rho_{n-1} = 0.$$

De ces équations, on tire immédiatement

$$(4)\quad \left\{\begin{aligned}
\rho_1 &= 2\frac{l_1}{l_2} + 2,\\
\rho_2 &= \left(2 - \frac{1}{\rho_1}\right)\frac{l_2}{l_3} + 2,\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\\
\rho_i &= \left(2 - \frac{1}{\rho_{i-1}}\right)\frac{l_i}{l_{i+1}} + 2,\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\\
\rho_{n-1} &= \left(2 - \frac{1}{\rho_{n-2}}\right)\frac{l_{n-1}}{l_n} + 2.
\end{aligned}\right.$$

Ces formules permettent de calculer très-facilement les rapports ρ de proche en proche. Connaissant ces valeurs, on déterminera les points D des diverses travées, de manière que l'on ait

$$(5)\quad \frac{A_2D_2}{A_1D_2} = \rho_1, \frac{A_3D_3}{A_2D_3} = \rho_2 \ldots\ldots \frac{A_nD_n}{A_{n-1}D_n} = \rho_n.$$

Les verticales passant par les points D ainsi obtenus, rencontrent respectivement les droites R_1R_2, $R_2R_3 \ldots R_{n-1}R_n$, aux pivots cherchés $O_2, O_3 \ldots O_n$; et pour construire les ordonnées représentatives des moments fléchissants, il n'y a qu'à joindre A_nO_n qui coupe la verticale A_{n-1} en M_{n-1}, $M_{n-1}O_{n-1}$ qui coupe la verticale A_{n-2} en M_{n-2}, etc.... M_3O_3 qui coupe la verticale A_2 en M_2, M_2O_2 qui coupe la verticale A_1 en M_1. Les ordonnées A_1M_1, $A_2M_2, \ldots A_{n-1}M_{n-1}$ sont égales aux moments fléchissants cherchés.

Résumé des opérations. — La méthode que nous venons d'exposer peut se résumer ainsi qu'il suit :

1° Calculer les rapports ρ à l'aide des formules (4).

2° Construire sur chacune des travées autres que la première, la projection D du pivot correspondant au moyen des expressions (5).

3° Calculer au moyen des équations (4) les valeurs de $\mu_2, \mu_3 \ldots \mu_{n-1}, \mu_n$, qui correspondent à une valeur arbitraire donnée à μ_1, μ_0 étant supposé nul.

4° Construire sur les verticales des appuis A_1 A_2,..., A_3, A_{n-1}, A_n, les ordonnées A_1R_1, A_2R_2, $A_3R_3 \ldots A_{n-1}$ R_{n-1}, A_nR_n, respectivement égales aux valeurs de μ_1, μ_2, $\mu_3 \ldots \mu_{n-1}, \mu_n$, ainsi calculées.

5° Déterminer les points O_2, O_3,...O_n, où R_1R_2, R_2R_3... $R_{n-1}R_n$ rencontrent respectivement les verticales des points D_2, $D_3 \ldots D_n$.

6° Joindre A_nO_n qui coupe la verticale A_{n-1} en M_{n-1}, $M_{n-1}O_{n-1}$ qui coupe la verticale A_{n-2} en M_{n-2}, etc.... M_3O_3 qui coupe la verticale A_2 en M_2, M_2O_2 qui coupe la verticale A_1 en M_1. Les ordonnées A_1M_1, $A_2M_2 \ldots A_{n-1}M_{n-1}$ sont égales aux moments fléchissants sur les appuis.

Remarques. — 1° La position des verticales D_2, $D_3 \ldots D_n$, ne dépendant aucunement de la distribution des charges sur les travées, ces verticales, une fois tracées, serviront à construire les moments fléchissants sur les appuis dans toutes les hypothèses de surcharges.

2° Dans le cas où toutes les travées sont égales, l_1, $l_2 \ldots$ l_n, disparaissent des formules (4) qui se réduisent alors à

$$\begin{aligned}
\rho_1 &= 4, \\
\rho_2 &= 4 - \frac{1}{\rho_1}, \\
&\ldots\ldots\ldots \\
\rho_i &= 4 - \frac{1}{\rho_{i-1}}, \\
&\ldots\ldots\ldots \\
\rho_{n-1} &= 4 - \frac{1}{\rho_{n-2}}.
\end{aligned}$$

Les rapports ρ sont par suite les réduites successives de la fraction continue

$$4-\cfrac{1}{4-\cfrac{1}{4-\cfrac{1}{4-\cfrac{1}{4\ldots}}}}$$

dont la valeur-limite est égale à $2+\sqrt{3}=3.732\ldots$.

Cette fraction continue se rencontre fréquemment dans la théorie des poutres à plusieurs travées.

CHAPITRE II.

MÉTHODE DIRECTE PUREMENT GRAPHIQUE.

Avant d'exposer cette deuxième méthode, nous énoncerons, à titre de lemme, le théorème suivant, dû à Desargues, et bien connu d'ailleurs.

Théorème. — Si les côtés de deux triangles, situés sur un même plan, concourent deux à deux en des points situés en ligne droite, les droites joignant les sommets des deux triangles concourent en un même point.

Réciproquement, lorsque deux triangles sont disposés sur un même plan, de telle façon que les droites joignant les sommets de ces triangles chacun à chacun concourent en un même point, les points de rencontre des côtés correspondants sont en ligne droite.

Traduction géométrique du théorème des trois moments. — M. Collignon (*) a déduit de la relation analytique qui lie

(*) *Théorie élémentaire des poutres droites*, 1re partie, p. 33. *Résistance des matériaux*, 1re partie, p. 254.

les moments fléchissants sur trois appuis consécutifs, une relation géométrique que nous allons rappeler et dont nous ferons usage dans ce qui va suivre.

Considérons la relation

$$l_i\mu_{i-1}+2(l_i+l_{i+1})\mu_i+l_{i+1}\mu_{i+1}=\frac{1}{4}p_i l_i^3+\frac{1}{4}p_{i+1}l_{i+1}^3$$

qui lie les moments fléchissants sur les appuis A_{i-1}, A_i, A_{i+1}; construisons, à une échelle convenablement choisie (*fig.* 6), les ordonnées $A_{i-1}M_{i-1}$, A_iM_i, $A_{i+1}M_{i+1}$, représentant les moments fléchissants μ_{i-1}, μ_i, μ_{i+1}, et prolongeons A_iM_i d'une longueur égale à elle-même jusqu'en M'_i.

On a immédiatement

$$\text{Trap. } A_{i-1}M_{i-1}M'_iA_i+\text{Trap. } A_iM'_iM_{i+1}A_{i+1}=\frac{A_{i-1}M_{i-1}+A_iM'_i}{2}A_{i-1}A_i$$
$$+\frac{A_iM'_i+A_{i+1}M_{i+1}}{2}A_{i+1}A_i=\frac{\mu_{i-1}+2\mu_i}{2}l_i+\frac{2\mu_i+\mu_{i+1}}{2}l_{i+1}=$$
$$=\frac{1}{2}[l_i\mu_{i-1}+2(l_i+l_{i+1})\mu_i+l_{i+1}\mu_{i+1}]=\frac{1}{8}p_il_i^3+\frac{1}{8}p_{i+1}l_{i+1}^3.$$

Soient G_i et G_{i+1} les points où les perpendiculaires B_iG_i, $B_{i+1}G_{i+1}$ élevées sur les milieux des $i^{ème}$ et $(i+1)^{ème}$ travées rencontrent respectivement $M_{i-1}M'_i$ et M'_iM_{i+1}; N_{i-1} et N_{i+1} les points où G_iG_{i+1} rencontre respectivement $A_{i-1}M_{i-1}$ et $A_{i+1}M_{i+1}$. On a

$$\text{Trap. } A_{i-1}N_{i-1}N_{i+1}A_{i+1}=\text{Trap. } A_{i-1}M_{i-1}M'_iA_i+\text{Trap. } A_iM'_iM_{i+1}A_{i+1}$$

et par suite, en vertu des égalités précédentes,

$$\text{Trap. } A_{i-1}N_{i-1}N_{i+1}A_{i+1}=\frac{1}{8}p_il_i^3+\frac{1}{8}p_{i+1}l_{i+1}^3.$$

Sur les verticales des points B_i et B_{i+1}, prenons

$$B_iP_i=\frac{1}{8}p_il_i^2,\quad B_{i+1}P_{i+1}=\frac{1}{8}p_{i+1}l_{i+1}^2.$$

La droite P_iP_{i+1}, prolongée dans les deux sens, rencontre

en Q_{i-1} et Q_{i+1} les verticales $A_{i-1}M_{i-1}$, $A_{i+1}M_{i+1}$, et détermine un trapèze $A_{i-1}Q_{i-1}Q_{i+1}A_{i+1}$ dont l'aire est égale à

$$B_iP_i \times l_i + B_{i+1}P_{i+1} \times l_{i+1} = \frac{1}{8}p_il_i^2 + \frac{1}{8}p_{i+1}l^2_{i+1}.$$

Les deux trapèzes $A_{i-1}N_{i-1}N_{i+1}A_{i+1}$ et $A_{i-1}Q_{i-1}Q_{i+1}A_{i+1}$ sont par suite équivalents, et comme ils ont même hauteur $A_{i-1}A_{i+1}$, ils interceptent la même longueur sur la parallèle à leurs bases communes menée à égale distance de ces bases; autrement dit, la perpendiculaire H_iC_i à $A_{i-1}A_{i+1}$, menée par le point de rencontre H_i de $N_{i-1}N_{i+1}$ et $Q_{i-1}Q_{i+1}$, doit tomber au milieu de $A_{i-1}A_{i+1}$. Par suite, pour déterminer le point H_i, il suffira d'élever en C_i, point milieu de $A_{i-1}A_{i+1}$, une verticale, et d'en prendre le point de rencontre avec P_iP_{i+1}. De là résulte, ainsi que M. Collignon l'a montré, un moyen de construire géométriquement les moments fléchissants sur les divers appuis d'une poutre à plusieurs travées, lorsqu'on a préalablement déterminé le moment fléchissant sur le deuxième appui.

En effet, supposons μ_{i-1} et μ_i connus, c'est-à-dire les points M_{i-1}, M_i et par suite M'_i construits. La droite $M_{i-1}M'_i$ rencontrera en un point G_i la verticale B_iP_i élevée sur le milieu de la $i^{ème}$ travée. La droite joignant G_i au point H_i, construit comme nous l'avons indiqué ci-dessus, coupera la verticale de B_{i+1} en G_{i+1}; ce dernier point étant joint à M'_i, on aura une droite coupant la verticale de l'appui A_{i+1}, en un point M_{i+1} tel que $A_{i+1}M_{i+1} = \mu_{i+1}$. Ainsi, connaissant μ_{i-1} et μ_i, on obtiendra facilement μ_{i+1} par une simple construction géométrique. Si donc on a préalablement déterminé par le calcul ou par tout autre procédé le moment sur le deuxième appui μ_1, comme d'ailleurs μ_0 est nul, la construction que nous venons de donner permettra de déterminer μ_2; la connaissance de μ_1 et de μ_2 conduira à celle de μ_3, et ainsi de suite de proche en proche, jusqu'au moment μ_n sur le $n+1^{ème}$ appui, qui devra être nul comme vérification.

Telle est la construction donnée par M. Collignon; elle est assez simple à appliquer, mais elle a l'inconvénient d'exiger le calcul préalable du moment fléchissant sur le deuxième appui. Or, à cause des termes communs qui existent dans les expressions des divers moments, il est presque aussi long d'en calculer un seul que de les calculer tous. Il y avait donc un réel intérêt à s'affranchir de ce calcul préalable. Nous y sommes parvenu à l'aide de quelques considérations géométriques fondées sur l'application des deux lemmes que nous avons donnés ci-dessus.

Détermination des pivots I des droites telles que $M_{i-1}M'_i$. — Nous avons vu précédemment qu'étant donnée une certaine répartition des charges sur les travées, si l'on faisait varier μ_1 arbitrairement, les valeurs simultanées de μ_{i-1} et μ_i liées à celles de μ_1 par le système des équations (3) variaient en satisfaisant constamment à une équation linéaire telle que

$$\alpha\mu_{i-1} + \beta\mu_i = \gamma. \tag{5}$$

Doublons μ_i et posons $2\mu_i = \mu'_i$. En substituant dans la dernière équation $\mu_i = \frac{1}{2}\mu'_i$, on a

$$2\alpha\mu_{i-1} + \beta\mu'_i = 2\gamma.$$

Par suite, en vertu du lemme établi ci-dessus, la droite $M_{i-1}M'_i$ pivote autour d'un certain point I_i. Ce point est compris entre les verticales des points A_i et A_{i-1}, car les coefficients α et β sont de même signe, et ses distances aux verticales A_i et A_{i-1} sont dans un rapport égal à $\frac{2\alpha}{\beta} = 2\rho_{i-1}$. Le rapport ρ_{i-1} étant donné par la $(i-1)^{ème}$ équation (4), on construira facilement le pied E_i de la verticale du pivot I_i. On prendra pour cela sur la droite qui joint les appuis

$$A_{i-1}E_i = \frac{l_i}{1 + 2\rho_{i-1}}.$$

Les verticales qui jouent le même rôle dans les autres travées se construiront de la même manière.

Détermination des pivots J *des droites telles que* M', M_{+1}. — Les droites telles que M'_iM_{i+1} pivoteraient également autour de certains points fixes si, laissant les charges des travées constantes, on faisait varier μ_i.

Nous allons, par exemple, déterminer le pivot de la droite $M'_{i-1}M_i$. A cet effet, substituons dans la relation (5) $\mu_1 = \frac{1}{2}\mu'_{i-1}$; il vient

$$\alpha\mu'_{i-1} + 2\beta\mu_i = 2\gamma.$$

Par suite, toujours en vertu du même lemme, la droite $M'_{i-1}M_i$ pivote autour d'un point J_i, compris entre les verticales des points A_i et A_{i-1}, et dont les distances à ces droites sont dans un rapport égal à $\frac{\alpha}{2\beta} = \frac{1}{2}\rho_{i-1}$. En désignant par F_i le pied de la verticale du point J_i on a

$$A_{i-1}F_i = \frac{l_i}{1 + \frac{1}{2}\rho_{i-1}}.$$

On construira pareillement les verticales des pivots J relatifs aux autres travées.

Relation entre les pivots I *et* J *de deux travées consécutives.* — Il existe entre le point I d'une travée, le point J de la suivante et le point H relatif à ces deux travées, une relation géométrique fort simple : ces trois points sont en ligne droite. Par exemple, pour les $i^{ème}$ et $(i+1)^{ème}$ travées, les trois points I_i, H_i et J_{i+1} sont en ligne droite.

En effet, considérons le triangle $M'_i\,G_i\,G_{i+1}$. Lorsque μ_i varie, les sommets de ce triangle se déplacent sur trois verticales, c'est-à-dire sur trois droites qui concourent en un point situé à l'infini. Par suite, en vertu du théorème de Desargues rappelé plus haut, les côtés de ce triangle, après

déplacement, coupent respectivement leurs positions primi-tives en des points situés en ligne droite. Or ces points sont les pivots I_i, H_i, J_{i+1}. Donc ces trois pivots sont en ligne droite.

Relation entre les points I *et* J *d'une même travée.* — Les points I et J d'une même travée se déduisent facilement l'un de l'autre, en vertu de la remarque suivante. Supposons la valeur de μ_1 choisie de telle manière que la valeur correspondante de μ_{i-1} soit nulle. Les droites $A_{i-1}J_i$ et $A_{i-1}I_i$, limites des droites $M_{i-1}M'_i$ et $M'_{i-1}M_i$ devront encore couper la verticale du point A_i en deux points V_i et V'_i tels que $A_iV'_i = 2A_iV_i$. Si donc on connaît l'un des deux points, J_i par exemple, il suffira, pour avoir I_i, de prolonger A_iV_i d'une longueur égale à elle-même jusqu'en V'_i. La droite $A_{i-1}V'_i$ coupera la verticale du point E_i au point I_i cherché.

La construction se fera plus simplement en prolongeant F_iJ_i d'une longueur égale à elle-même jusqu'en J'_i. Il est évident que $A_{i-1}J'_i$ coïncide avec $A_{i-1}V'_i$ et détermine par suite le point I_i.

Règle pour la construction des moments fléchissants sur les appuis. — Ayant calculé les rapports ρ par les formules (4), on construit les points E et F de chaque travée à partir de la seconde. Les points E_i et F_i de la $i^{\text{ème}}$ travée sont déterminés par les relations

$$(6)\quad A_{i-1}E_i = \frac{l_i}{1+2\rho_{i-1}},\qquad (7)\quad A_{i-1}F_i = \frac{l_i}{1+\frac{1}{2}\rho_{i-1}}.$$

Sur le milieu de chaque travée on construit l'ordonnée BP (*), l'ordonnée B_iP_i de la $i^{\text{ème}}$ travée étant donnée par la relation

$$(8)\qquad B_iP_i = \frac{1}{8}p_il_i^2.$$

(*) Le lecteur est prié de faire la figure.

On joint les points P dans l'ordre où ils se succèdent; puis sur le milieu de chaque couple de deux travées consécutives on élève une verticale qui coupe le côté correspondant du contour $P_1P_2 \ldots P_n$ en un point H. Par exemple, au point C_i milieu de $A_{i-1}A_{i+1}$, on élève une verticale qui coupe P_iP_{i+1} au point H_i. Ayant ainsi construit les points H, on joint A_0H_1 qui rencontre en J_2 la verticale du point F_2. On prolonge F_2J_2 d'une longueur égale à elle-même jusqu'en J'_2 : $A_1J'_2$ rencontre la verticale E_2 en un point I_2. On joint I_2H_2 qui rencontre en J_3 la verticale F_3. On prolonge F_3J_3 d'une longueur égale à elle-même jusqu'en J'_3 : $A_2J'_3$ rencontre la verticale E_3 en un point I_3, et ainsi de suite. Ayant finalement construit le point J_n au-dessus de la $n^{ième}$ travée, on trace A_nJ_n qui rencontre la verticale A_{n-1} en un point M'_{n-1} tel que $A_{n-1}M'_{n-1} = 2\mu_{n-1}$; $M'_{n-1}I_{n-1}$ rencontre la verticale A_{n-2} en un point M_{n-2} tel que $A_{n-2}M_{n-2} = \mu_{n-2}$; et ainsi de suite, cette construction donnant alternativement sur les verticales des appuis les moments fléchissants simples et doublés.

Vérification. — Comme vérification, on pourra, en suivant une marche analogue à la précédente, construire la ligne polygonale $M_{n-1}M'_{n-2}M_{n-3}M'_{n-4}\ldots\ldots$, qui déterminera comme la ligne $M'_{n-1}M_{n-2}M'_{n-3}M_{n-4}\ldots\ldots$, les moments alternativement simples et doublés sur les verticales des appuis, mais dans un ordre inverse. Les distances aux appuis correspondants des points M_{n-1} et M'_{n-1}, M_{n-2} et M'_{n-2}, etc., comparées entre elles indiqueront si les constructions sont exactes.

Remarque au sujet des points H. — Dans l'étude d'un projet de poutre droite à plusieurs travées, on doit tenir compte, pour chaque travée, en dehors de son poids propre, de la surcharge fixée par les règlements administratifs, et l'on détermine les moments fléchissants sur les appuis dans les diverses hypothèses qui correspondent aux différentes combinaisons des charges permanentes et des surcharges. Mais il est bon de remarquer que, quel que soit le nombre

des hypothèses à étudier, le point H de chaque couple de deux travées contiguës ne peut occuper que quatre positions différentes. Ces quatre positions du point H correspondent aux quatre combinaisons suivantes :

1° Les deux travées non surchargées;

2° La travée de gauche seule surchargée;

3° La travée de droite seule surchargée;

4° Les deux travées surchargées.

Remarque au sujet des points E *et* F. — Les points E et F se construisent au moyen des rapports ρ donnés par les formules (4). Les valeurs de ces rapports étant indépendantes des charges serviront, une fois construites, à déterminer les moments fléchissants sur les appuis dans toutes les hypothèses que l'on pourra faire sur la distribution des surcharges.

On peut remarquer enfin qu'une fois les verticales E et F et les quatre séries des points H construites, la détermination des moments fléchissants sur les appuis, dans les diverses hypothèses de répartition des charges à considérer, se fait au moyen de constructions qui n'exigent absolument que l'emploi de la règle.

CHAPITRE III.

APPLICATION A LA DÉTERMINATION DES MOMENTS FLÉCHISSANTS SUR LES APPUIS D'UN PONT DE 220 MÈTRES A 4 TRAVÉES.

Calculs préliminaires. — Nous avons eu l'occasion d'appliquer la méthode précédente au projet d'un viaduc établi sur l'Yonne, à la traversée de la ligne d'Orléans à Châlons. Ce viaduc, actuellement terminé (*), se compose de quatre travées, les deux travées du milieu ayant une portée de 58^{m},40 et les deux travées extrêmes une portée de 49 mètres d'axe en axe des montants sur les appuis.

(*) Il a été construit par la compagnie de Fives-Lille.

En substituant $l_1 = l_4 = 49$ mètres ; $l_2 = l_3 = 58^m,40$, dans s formules (4), on obtient

$$\rho_1 = 2\frac{l_1}{l_2} + 2 = 3.678,$$

$= 0,271,$

$$\rho_2 = \left(2 - \frac{1}{\rho_1}\right)\frac{l_2}{l_3} + 2 = 3.729,$$

$= 0,268,$

$$\rho_3 = \left(2 - \frac{1}{\rho_2}\right)\frac{l_3}{l_4} + 2 = 4.064.$$

Les formules (6) et (7) donnent

$$\ldots F_2 = \frac{l_2}{1 + 2\rho_1} = 6^m,98, \qquad A_1F_2 = \frac{l_2}{1 + \frac{1}{2}\rho_1} = 20^m,57,$$

$$\ldots F_3 = \frac{l_3}{1 + 2\rho_2} = 6\ ,95. \qquad A_2F_3 = \frac{l_3}{1 + \frac{1}{2}\rho_2} = 20\ ,39,$$

$$\ldots F_4 = \frac{l_4}{1 + 2\rho_3} = 5\ ,37, \qquad A_3F_4 = \frac{l_4}{1 + \frac{1}{2}\rho_3} = 16\ ,16.$$

Les charges supportées par les travées sont les suivantes :

Charge permanente (tablier et voie). 1.200 k. par mèt. c^t de poutre.
Surcharge d'épreuve. . . . . 2.000 k. —

En appliquant la formule (8) à chacune des travées dans l'hypothèse de la charge permanente agissant seule ($p =$ 1.200 kil.) on obtient

$$B_1p_1 = B_4p_4 = \frac{1}{8}\ 1200 \times \overline{49}^2 = 360.150^{k/m}.$$

$$B_2p_2 = B_3p_3 = \frac{1}{8}\ 1200 \times \overline{58,4}^2 = 511.584^{k/m}.$$

La même formule, appliquée à la charge permanente augmentée de la surcharge ($p = 3.200$ kil.), donne

$$B_1P_1 = B_4P_4 = \frac{1}{8}\, 3200 \times \overline{49}^2 = 960.400^{k/m}.$$

$$B_2P_2 = B_3P_3 = \frac{1}{8}\, 3200 \times \overline{58,4}^2 = 1.364.224^{k/m}.$$

Ces quelques résultats numériques vont nous permettre de construire les moments fléchissants sur les appuis, dans toutes les hypothèses à faire sur la distribution des charges.

Construction du canevas de l'épure. — Prenons à cet effet une échelle de 1 millim 1/2 pour 1 mètre, pour représenter les abscisses, et une échelle de 1 centimètre pour 100.000 kilogrammètres, pour les ordonnées.

Soient (*fig.* 7) (*) A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, les cinq points d'appui de la poutre. Portons, sur la ligne des appuis que nous supposons horizontale, les abscisses A_1E_2, A_2E_3, A_3E_4, A_1F_2, A_2F_3, A_3F_4, calculées ci-dessus, et menons par les points obtenus des perpendiculaires à la ligne des appuis.

Aux points B_1, B_2, B_3, B_4 milieux des quatre travées, élevons les ordonnées B_1p_1 et B_1P_1, B_2p_2 et B_2P_2, B_3p_3 et B_3P_3, B_4p_4 et B_4P_4. Par les points C_1, C_2 (**), C_3, équidistants respectivement de A_0 et A_2, de A_1 et A_3, de A_2 et A_4, menons des verticales. Joignons deux à deux les points P et p de chaque travée aux points P et p de la travée suivante, et prenons les points de rencontre des quatre droites ainsi obtenues avec la verticale du point C correspondant à l'ensemble des deux travées considérées. Nous obtenons ainsi quatre points HH, Hh, hH, hh, qu'il est commode de désigner par une double lettre marquée du même indice que le point C correspondant.

(*) Les échelles que nous indiquons, et qui donnent une épure suffisamment précise, n'ont pu être conservées dans cette figure.

(**) Le point C_2, dans le cas considéré, coïncide avec A_2.

Ces constructions préliminaires, une fois faites, permettent de construire très-rapidement les moments fléchissants dans une hypothèse quelconque relative aux charges.

Construction des moments fléchissants dans une hypothèse de répartition de charges déterminée. — Supposons, par exemple, les travées nos 1, 2 et 4 surchargées, la travée n° 3 ne portant que sa charge permanente; on a alors

$$p_1 = p_2 = p_4 = 3.200 \text{ k.}, \quad p_3 = 1.200 \text{ k.}$$

Les points H dont nous devons faire usage sont H_1H_1, H_2h_2, h_3H_3. A cet effet, joignons $A_0\,H_1H_1$ qui rencontre la verticale F_2 en J_2; prolongeons F_2J_2 d'une longueur égale à elle-même jusqu'en J'_2. Soit I_2 le point de rencontre de $A_1J'_2$ avec la verticale E_2; joignons $I_2H_2h_2$ qui coupe la verticale F_3 en J_3. Prolongeons F_3J_3 d'une longueur égale à elle-même jusqu'en J'_3. Soit I_3 le point de rencontre de $A_2J'_3$ avec la verticale E_3; joignons $I_3h_3H_3$ qui rencontre la verticale F_4 en J_4. Prolongeons F_4J_4 d'une longueur égale à elle-même jusqu'en J'_4. Soit I_4 le point de rencontre de $A_4J'_4$ avec la verticale E_4. Cela fait, joignons A_4I_4 qui coupe la verticale A_3 en M_3, M_3J_3 qui coupe la verticale A_2 en M'_2, M'_2I_2 qui coupe la verticale A_1 en M_1. A_1M_1 et A_3M_3 sont égaux, à l'échelle adoptée, aux moments fléchissants sur les appuis A_1 et A_3; $A_2M'_2$ est égal au double du moment fléchissant sur l'appui A_2.

Comme vérification, joignons A_4J_4 qui rencontre la verticale A_3 en M'_3, M'_3I_3 qui rencontre la verticale A_2 en M_2, M_2J_2 qui rencontre la verticale A_1 en M'_1. A_2M_2 est égal au moment fléchissant sur l'appui A_2; $A_1M'_1$ et $A_3M'_3$ sont respectivement égaux au double des moments fléchissants sur les appuis A_1 et A_3.

On trouve, en mesurant à l'échelle, les ordonnées représentatives des moments fléchissants

$$\mu_1 = A_1M_1 = 1.030.000^{k/m}.; \quad \mu_2 = A_2M_2 = 540.000^{k\,m}.;$$
$$\mu_3 = A_3M_3 = 570.000^{k/m}.$$

avec une erreur inférieure à 10.000 kilogrammètres.

Cette approximation est suffisante pour calculer, à un dixième de kilogramme près, le coefficient de travail des fers au droit des appuis.

CHAPITRE IV.

DÉTERMINATION GRAPHIQUE DES MOMENTS FLÉCHISSANTS ET DES EFFORTS TRANCHANTS AUX DIVERS POINTS DE CHAQUE TRAVÉE.

Détermination des moments fléchissants aux divers points de chaque travée. — Lorsque l'on a construit les moments fléchissants sur les appuis d'une poutre, il est facile d'en déduire graphiquement les moments fléchissants maxima sur les travées. On peut, par exemple, procéder de la manière suivante.

Soient (*fig.* 8) A_1M_1 et A_2M_2 les ordonnées représentant les moments fléchissants sur les appuis A_1 et A_2. On sait que les moments fléchissants aux divers points de la travée sont représentés par les ordonnées d'une parabole, qui passe par les points M_1 et M_2, dont l'axe est vertical, et dont le paramètre est égal à l'inverse de la charge supportée par mètre courant de poutre.

Cette parabole est surabondamment déterminée par ces conditions, et il est facile de construire son sommet, dont l'ordonnée représente le moment fléchissant maximum sur la travée.

En effet, désignons par x_1, y_1, les coordonnées du point M_1, par x_2, y_2, les coordonnées du point M_2 de la parabole rapportée à son axe et à sa tangente au sommet, et par p le paramètre de cette parabole. On a

$$y_1^2 = 2px_1,$$
$$y_2^2 = 2px_2.$$

D'où, en retranchant membre à membre,

$$y_2^2 - y_1^2 = 2p(x_2 - x_1),$$

ou bien

$$(y_2 - y_1)(y_2 + y_1) = 2p(x_2 - x_1).$$

Or, $y_2 - y_1 = M'N$, M' étant le second point de rencontre de la parabole avec la perpendiculaire à son axe menée par M_1

$$y_2 + y_1 = M_1N = M''M_2,$$
$$x_2 - x_1 = P_1P_2 = M_2N,$$

On a par suite la proportion

$$\frac{M'N}{2p} = \frac{M_2N}{M''M_2}.$$

De là résulte une construction fort simple de $M'N$. Pour cela rabattons M'' en Q au moyen d'un quart de cercle décrit du point M_2 comme centre. Prenons $QR = 2p$ perpendiculairement à M_2Q, et joignons M_2R. Cette droite rencontre M_1N au point M' cherché. Par le point P_1, milieu de M_1M', menons une perpendiculaire à A_1A_2; nous avons l'axe de la parabole. Pour avoir le sommet, prenons $P_1S = p$; M_1S est la normale en M_1 à la parabole, M_1T perpendiculaire à M_1S est la tangente; le milieu O de P_1T est le sommet de la parabole.

Ayant le patron de la parabole, il est alors facile de tracer sur l'épure la courbe représentative des moments fléchissants sur la travée, en y appliquant ce patron de manière que son sommet coïncide avec le point O, que son axe coïncide avec OX, et que son contour passe, comme vérification, par les points M_1 et M_2 (*).

Détermination des efforts tranchants aux divers points d'une même travée. — L'effort tranchant en chaque point

---

(*) On peut déterminer, à l'aide d'une construction fort simple et bien connue, les points de rencontre de la parabole avec A_1A_2

de la poutre, étant égal à la dérivée du moment fléchissant par rapport à l'abscisse du point considéré, est proportionnel à la tangente trigonométrique de l'angle que fait avec l'axe des appuis la tangente à la parabole représentant les moments fléchissants. On obtient par suite une longueur proportionnelle à la valeur de l'effort tranchant en un point quelconque *a* de la travée, en menant au point *m* de la parabole situé sur la verticale de *a*, une tangente *mt* à cette courbe, prenant à partir de *m*, sur une perpendiculaire à l'axe de la parabole, une longueur fixe *mb*, et menant par *b* une verticale jusqu'à sa rencontre en *c* avec *mt*. La longueur *bc* est proportionnelle à l'effort tranchant au point *a*.

Comme d'ailleurs les efforts tranchants aux divers points de la travée sont représentés par les ordonnées d'une ligne droite qui passe par le point L, il suffira de déterminer par la construction que nous venons d'indiquer l'effort tranchant sur l'un des deux appuis; en joignant au point L l'extrémité de l'ordonnée égale à cet effort tranchant, on aura la droite représentative des efforts tranchants aux divers points de la travée considérée.

En résumé, la méthode géométrique que nous avons donnée, pour la construction des moments fléchissants sur les appuis d'une poutre droite, forme le complément de la solution purement graphique du problème qui a pour objet l'étude d'un projet de poutre à plusieurs travées en nombre et de longueurs quelconques.

GÉNÉRALISATION.

On sait, depuis les belles recherches de M. Bresse (*), que le théorème des trois moments subsiste avec une légère modification, lorsque les appuis d'une poutre sont à des

(*) *Cours de mécanique appliquée*, 3e partie, p. 9 et 12.

niveaux un peu différents, et que les travées supportent des charges distribuées d'une manière quelconque, au lieu de charges uniformément réparties sur chacune d'elles. Le premier membre de la relation qui lie les moments sur trois appuis consécutifs reste le même ; seulement le second membre devient alors une fonction linéaire plus ou moins complexe des charges supportées par les deux travées. Si l'on voulait déterminer, dans ce cas, les moments fléchissants par le calcul, on se trouverait en présence d'opérations fort longues à effectuer. Les méthodes graphiques que nous avons exposées, et notamment la seconde, se prêtent au contraire, avec la plus grande facilité, à la détermination des moments fléchissants dans le nouveau cas, sans entraîner plus de complications que lorsque les travées supportent chacune un poids uniformément réparti.

La $i^{ème}$ équation est toujours de la forme

$$l_i \mu_{i-1} + 2(l_i + l_{i+1}) \mu_i + l_{i+1} \mu_{i+1} = K_i.$$

Pour appliquer la seconde méthode, il suffira de construire l'ordonnée $C_i H_i$ à l'aide de la relation

$$C_i H_i = \frac{K_i}{l_i + l_{i+1}}.$$

K_i étant égal à l'expression donnée par M. Bresse.

26 octobre 1875.

CHRONIQUE.

Avril 1876.

N° 22

EXPOSITION UNIVERSELLE DE PHILADELPHIE.

La *Société américaine des ingénieurs civils* veut exercer, elle aussi, l'hospitalité professionnelle à l'égard des étrangers qui visiteront l'Exposition de Philadelphie; et elle nous adresse par l'organe de son secrétaire, pour la communiquer aux membres du corps des ponts et chaussées, une invitation analogue à celle qu'a fait connaître le dernier numéro des *Annales* (*).

Cette société s'est entendue avec celle des mines pour recevoir ses hôtes le soir, quand l'Exposition sera fermée, dans un local situé au centre de la ville. Elle aura d'ailleurs un bureau dans le palais même de l'Exposition; et ce bureau, comme celui de la Société à New-York, sera à la disposition des ingénieurs étrangers.

Ceux-ci enfin pourront se faire adresser leurs lettres au siége de la Société américaine, soit à New-York, soit à Philadelphie (**).

E. M.

Sifflet automoteur pour locomotive. — Cet appareil imaginé par M. Lartigue, chargé du service électrique sur le chemin de fer du Nord, et M. Forest, sous-chef des études de la voie à la même compagnie, a pour but d'ajouter un signal acoustique au signal à vue pour commander l'arrêt aux mécaniciens, et qui parfois est insuffisant. Il se compose d'un sifflet à vapeur fixé sur la locomotive et dont la soupape est manœuvrée par un levier sous l'action d'un ressort. En temps ordinaire, le levier est maintenu soulevé par un

(*) Cahier de mars, Chronique, p. 385.
(**) L'adresse à New-York est 4, *East, Twenty-Third Street.*

électro-aimant du système Hughes, et la soupape est fermée: bobine de cet électro-aimant est reliée par un fil isolé à une bro métallique placée en arrière du foyer, de façon que les brins la constituent dépassent de quelques centimètres les pièces plus basses de la machine. En avant et à une distance quelco du signal à vue, est posée sur la voie, une pièce de bois ga d'une plaque métallique : celle-ci, lorsque le signal est à l'a se trouve en relation avec une source d'électricité. Lors du p sage de la locomotive, la brosse frotte contre cette plaque, circuit de la pile est fermé et le courant passe dans la bobine l'électro-aimant : aussitôt le levier obéit à l'action du ressort e sifflet fonctionne. Le mécanicien en arrête l'action à l'aide d' manette qui remet le levier au contact de l'aimant.

Le ministre des travaux publics a adressé aux compagnies chemins de fer une circulaire destinée à appeler l'attention cet appareil. Après avoir indiqué que des essais ont été poursu sur la ligne de Soissons depuis le mois de mai 1872, et que le tème appliqué à 38 machines à voyageurs et à 60 disques à tance, a donné, d'après les rapports des ingénieurs du cont des résultats satisfaisants par tous les temps et à toutes les vit la circulaire reproduit l'opinion de la commission des inve et des règlements de chemins de fer :

« L'excellence des résultats de l'emploi du sifflet Lartigu « Forest autorise à le considérer comme réalisant une très-b « solution pratique d'un problème de grand intérêt pour l'ex « tation des chemins de fer, dont la sécurité est imparfaite « garantie par les signaux purement visuels. Grâce à son emp « tout emplacement sera bon pour l'implantation d'un disq « distance, et il sera possible, sans aucun préjudice pour la s « rité, de placer les disques avancés à une distance invariabl « points à couvrir, uniformité qui peut offrir quelques avant « et à laquelle certains ingénieurs attachent du prix. La po « de tout signal, bornée sous le rapport visuel, par les accid « de terrain, par des obstacles naturels ou artificiels, pass « ou permanents, pourra, au moyen d'un fil plus ou moins l « être étendue aussi loin que les circonstances l'exigeront, le « gnal visuel étant transformé en un signal acoustique d' « efficacité parfaite. »

La commission a en conséquence exprimé l'avis qu'il y avait de porter officiellement à la connaissance des compagnies de c mins de fer ce système, qui permet d'obtenir la solidarité des gnaux acoustiques avec les signaux visuels.

Abonnements kilométriques sur le chemin de fer de Lausanne à Echallens. — Dans une communication faite par M. Dumont à la société des Ingénieurs civils, nous trouvons les renseignements suivants sur l'usage des carnets d'abonnement au parcours kilométrique employés en Suisse sur la ligne d'Echallens à Lausanne. Ces carnets servent sur cette ligne pour un parcours quelconque, dans l'une ou l'autre direction: ils contiennent une feuille comprenant 300 petits carrés d'une dimension un peu moindre que celle des timbres-poste et susceptibles de se détacher de la même manière. Le voyageur, en entrant dans le train, annonce à quelle station il veut s'arrêter; le chef de train détache de la feuille autant de carrés qu'il y a de kilomètres à parcourir et remet en échange au voyageur un billet indiquant le point de départ et le point d'arrivée.

Ces carnets sont vendus au public avec une réduction de 30 p. 100 sur le prix ordinaire.

Le chemin de fer de Lausanne à Echallens sur lequel est appliqué ce mode d'abonnement présente une longueur de 14 kilomètres environ, avec 8 stations : il est à voie étroite, la distance entre les bords intérieurs des boudins des rails est de 1 mètre. (Il n'existe en Suisse qu'une autre ligne à voie étroite, celle de Winkeln à Appenzell.)

Pont de Riga sur la Düna. — Les *Nouvelles Annales de la Construction* donnent sur ce pont des renseignements dont nous extrayons ce qui suit :

Ce pont est établi sur la Düna (ou Dvina) au droit de la ville de Riga, capitale de la Livonie russe; sa longueur totale est de 743^m,71 : il se compose de huit grandes travées de 83 mètres d'ouverture libre et de 86^m,3075 d'axe en axe des piles, plus un grand pont tournant donnant une ouverture libre de 20 mètres en rivière pour le passage des navires, et de l'autre côté une ouverture égale sur le terre-plein des quais.

Les piles en rivière, placées obliquement à l'axe du pont, ont 4^m,87 de largeur à leur base et 3 mètres à la partie supérieure; leur longueur maxima est de 19^m,59; elles sont munies à l'amont de forts brise-glace revêtus en granit dur. Les piles ont été foncées d'après le système qui a été employé au pont de Kehl; seulement les caissons ne présentaient que deux puits d'extraction; ces caissons avaient 19^m,59 de longueur, 4^m,877 de largeur et 2^m,435 à 3^m,10 de hauteur. Les tubes d'extraction avaient un

diamètre de 1 mètre. Les piles ont atteint jusqu'à la profondeur de 20 mètres.

Le pont est constitué par deux poutres en treillis de $9^m,6\ldots$ de hauteur ; elles sont formées de deux parties simples distantes de $0^m,60$; la largeur des tabliers entre les poutres est de $9^m,71$; en comptant l'épaisseur de ces poutres et la largeur des deux trottoirs, $1^m,27$, placés en encorbellement extérieur, on trouve pour la largeur totale du tablier $13^m,45$.

Le poids total des fers employés pour le pont est de 5.852.935 kilogrammes, dont 617.870 pour les caissons et 114.660 pour les plaques de dilatation. La dépense n'a pu être évaluée encore exactement ; elle est indiquée comme étant approximativement de 8.308.700 francs, mais cette somme est un minimum.

La construction de ce pont a présenté des difficultés spéciales ; outre la force du courant qui est très-rapide, il fallait se garantir contre les glaces ; pour pouvoir continuer les travaux en hiver il a fallu enfermer chaque pile dans une sorte de maison en bois à doubles parois entre lesquelles on bourrait de la mousse sur [illegible] d'épaisseur, et l'intérieur était chauffé à la vapeur. Malgré ces difficultés, le pont, commencé le 10 mai 1871, a été terminé le 15 octobre 1872 ; la construction avait duré un peu plus de dix-sept mois.

C. M. G.

N° 23

ASSAINISSEMENT DE BERLIN.

Règlements et travaux.

NOTE

Par M. MILLE, inspecteur général des ponts et chaussées.

1. *Exposé.* — Les questions d'assainissement occupent l'attention publique en Allemagne. Pour ne parler que des deux capitales, Vienne, tout en réalisant l'œuvre coûteuse de la rectification du Danube, a obtenu en même temps la distribution des sources pures et fraîches du Semmring; Berlin, qui est encore dans un état de viabilité déplorable, peut s'élever au niveau de Londres et de Paris, en créant du même coup la distribution d'eau, le drainage et l'irrigation.

2. *La distribution d'eau à Vienne.* — Disons un mot de la distribution de Vienne.

Vienne n'avait jusqu'ici comme ressources que les eaux tièdes et impures du Danube, ou les eaux fades et insalubres des puits. Dès 1860 on ouvrait un concours pour l'alimentation en eau potable, et l'on décidait qu'il fallait aller chercher les sources du Semmring à 95 kilomètres de distance, et à 360 mètres d'altitude au-dessus de l'étiage du fleuve. Elles sortent des neiges du Schneeberg, dans un terrain qui appartient à la zone calcaire des Alpes; les pluies ou les fontes des neiges filtrent dans les fissures, circulent sur des bancs de schiste ardoisier, et arrivent au

jour sous forme de sources dont les principales sont le Kaiserbrunn, dans la vallée d'Enfer, et la Sixten-quelle qui vient des sapins de Reichenau. La première a été donnée par l'empereur François-Joseph à la commune de Vienne, la seconde est un don du comte Hoyos-Sprinzenstein. Mêlées ensemble, elles ont une température de 7°, et un titre hydrotimétrique de 10°. Leur cube est en moyenne de 70.000 mètres par jour, ce qui assure à la population de 940.000 habitants un régime de 75 litres environ par tête. On ne saurait s'imaginer avec quel plaisir on trouve aujourd'hui dans toutes les maisons et à tous les étages ces eaux glacées, limpides et pures qui combattent la chaleur et la poussière du climat.

3. *Assainissement de Berlin. État actuel.* — Arrivons à la transformation de Berlin.

Si l'eau est le premier besoin à Vienne, le drainage à Berlin, comme à Londres, passe encore avant, à cause de l'humidité et de la pluie ; c'est ce qui fera comprendre et l'état actuel de la ville, et l'amélioration que vont produire les travaux en cours d'exécution.

Berlin, ville toute moderne, quoiqu'elle fût déjà place de commerce au moyen âge, doit sa grandeur à la dynastie des Frédéric. Sous Frédéric Ier, lors de la révocation de l'Édit de Nantes et de l'arrivée d'une colonie de réfugiés français (1686), elle n'avait que 20.000 habitants; un siècle après, à la mort du grand Frédéric (1786), elle en comptait déjà 114.000; elle s'est développée avec le siècle, et en 1872 le dénombrement donnait 828.000 habitants; il faudrait dire un million aujourd'hui.

Bâti dans une plaine de sable, sur le bord de la Sprée, rivière faible et lente qui par les marais de l'Havel coule dans l'Elbe, Berlin a une étendue de 6.250 hectares; 2.560 seulement sont couverts de constructions. La ville ancienne, posée sur la rive droite, est marquée par l'hôtel de ville, reconstruit depuis peu avec un luxe féodal; elle garde les

fabriques et les dépôts. La ville nouvelle, tout entière sur la rive gauche, a pour axe le boulevard *unter den Linden* (*sous les tilleuls*); c'est une avenue de 50 mètres de largeur, et de 2 kilomètres de longueur, plantée en tilleuls et en marronniers; elle commence à l'est, au palais impérial, qui n'est que l'ancien château fort; elle s'arrête à l'ouest à la porte de Brandebourg, arc de triomphe en portique grec, qui ouvre les allées du Thiergarten, du Bois. Les monuments, les hôtels et les magasins de luxe se pressent l'un contre l'autre au boulevard des Tilleuls. En face du palais, on a le Musée, qui comme le Louvre, à Paris, est le joyau de Berlin. Un peu plus loin l'Opéra, puis l'Université, qui est logée dans l'ancien palais du prince Henri. Sur le boulevard, croisent, par des percements à angle droit, de larges rues allant du sud au nord, de la gare de Dresde et Vienne, à la gare de Hambourg et Cologne. Ce quartier se nomme, de son créateur, Friederickstadt, la cité de Frédéric Ier; elle a pour artères de mouvement Friederickstrass, la rue des magasins et des affaires, et Wilhelmstrass, la rue des ministères, des hôtels de la noblesse. Au delà de la porte de Brandebourg, en descendant à gauche, on rencontre ce qu'on pourrait appeler le *Westend*, le quartier du Parc, formé de *terraces* presque anglaises, de pavillons à verandas de pierre et vitrages, garnis de feuillages et précédés par des gazons que décorent des plantes d'ornement; c'est la résidence des familles riches. Berlin, imitation froide de l'antique dans les monuments du boulevard, a ici la trace du goût, des habitudes, du climat de Londres.

Au milieu de ces accroissements rapides, Berlin est resté, au point de vue de l'assainissement, à l'état primitif. Les rues, mal pavées, ont des pompes de distance en distance, parce que l'approvisionnement d'eau se retire en grande partie de la nappe des sables, quoiqu'une compagnie anglaise distribue les eaux de la Sprée, prises et filtrées en amont. Les chaussées sont bordées, rétrécies, rendues dan-

gereuses par des fossés qui ont jusqu'à $0^m,80$ de profondeur, parce qu'ils remplissent les fonctions d'égouts et de collecteurs, et qu'ils doivent verser au plus prochain bras de la Sprée le drainage des rues et des habitations. Ces fossés, on les passe sur des dalles en pierre ou sur des planches; on franchit un revers à peine bloqué, et l'on entre dans les maisons, où la division se fait par appartements, comme à Vienne d'ailleurs. Les eaux pluviales et ménagères sortent des toitures et des cuisines en s'écoulant à ciel ouvert. Les latrines tombent à des puits perdus ou à des fosses à vidanges. Et la Sprée, très-pauvre d'eau et de mouvement, déjà salie par la navigation des bateaux de bois, de briques, de marchandises et de légumes, reçoit partout sur son parcours les chutes des ruisseaux de quartiers.

Un tel état de choses ne pouvait subsister; on en convenait et depuis vingt ans on discutait les mesures d'amélioration. Que fallait-il faire? Comment devait-on comprendre et exécuter la transformation? Les grandes villes d'Allemagne, Hambourg, Dantzig, avaient jusqu'ici demandé leurs solutions d'assainissement aux ingénieurs anglais. Cette fois, le projet de la capitale fut confié à un ingénieur, M. Hobrecht, qui avait beaucoup étudié l'Angleterre et qui trouva, pour l'appuyer, le concours éclairé de son frère, premier bourgmestre, c'est-à-dire maire de Berlin.

4. *Principes d'assainissement.* — Les principes ont été mis en lumière dès 1851 par le rapport célèbre du *Board of health*, écrit sous l'inspiration de M. Chadwick : ils consistent dans la circulation sans arrêt et dans la restitution au sol. Il faut l'eau vive, arrivant fraîche et pure dans l'habitation, travaillant en abondance, avec *gaspillage*, comme le dit si bien M. Belgrand, au cabinet de toilette, à la cuisine, au water-closet, puis emportant tous les résidus, tous les débris, toutes les ordures. Le water-closet surtout est le point d'appui de la salubrité domestique. Plus de fosses à vidanges, laissant se corrompre et putréfier des urines et

des matières qui, saisies par un courant froid. sortiraient de l'atmosphère habitée sans répandre d'odeur. La maison doit être drainée comme le sont les terrains de cultures, qu'il faut protéger contre les eaux stagnantes. La rue aussi doit être drainée. Et ces branches qui deviennent des rameaux aboutiront à un tronc commun, à un collecteur, qui n'a plus le droit de tomber dans la rivière et de l'infecter. Car là d'autres habitants vivent, dont il faut respecter l'air et les eaux. C'est au sol à recevoir des liquides, qui sont des engrais comme le fumier lui-même, et qui, comme le fumier, peuvent par la culture profonde et les récoltes épuisantes rentrer sans danger dans le cercle de la vie. Ainsi les quatre éléments des anciens, l'air, l'eau, la terre, le soleil, agissant par la circulation sur la matière organisée, voilà les principes certains de l'assainissement.

5. *Règlements sur l'assainissement des habitations.* — L'application a d'abord été fixée par les règlements. Aux termes de l'ordonnance de police du 14 juillet 1874, dès que la canalisation souterraine existe dans une rue et un quartier, tout propriétaire est tenu de joindre son immeuble à l'égout public par un drain de $0^m,16$. Ce drain servira à l'écoulement des eaux pluviales et ménagères, comme à la sortie des water closets; mais il est interdit, à raison du faible diamètre de $0^m,16$, aux débris solides, restes de cuisine, cendres de foyers, immondices. Plus de fosse à vidange dans la maison : elles seront supprimées, le water-closet devenant l'organe unique. Plus d'écoulements à ciel ouvert dans les rues, plus de fossés profonds qu'on franchit sur des dalles; le revers doit devenir un trottoir, arrêté par une bordure en granit contre une chaussée à faible bombement et à caniveau en angle droit.

Dans le délai de six semaines après notification régulière, le propriétaire doit présenter le projet de drainage de son immeuble, rédigé d'après des prescriptions formulées à l'arrêté de police du 8 août 1875. Comme précaution,

le tuyau de descente des eaux pluviales sera terminé par un appareil à siphon, pouvant arrêter les débris solides des toitures. L'évier de cuisine sera muni d'une grille. Le drain de l'habitation sera protégé contre les retours du mauvais air de l'égout par un siphon et un clapet, avec puisard de visite en avant.

Le règlement du maire, du 4 septembre 1874, complète ces dispositions. Il impose l'abonnement aux eaux de la ville : car la ville devient acquéreur de l'établissement créé en amont par une compagnie anglaise pour la distribution des eaux des sables de la Sprée. La demande doit se faire dans le délai de six semaines, après notification. Si le propriétaire n'obéit pas, l'abonnement est passé d'office, comme le drainage doit s'exécuter d'office, dès que les délais règlementaires sont dépassés.

Le même arrêté indique aussi le partage des travaux, et le mode de recouvrement des dépenses. Tandis que le propriétaire travaille chez lui, à l'intérieur de son immeuble, l'administration travaille sur la voie publique; elle va même plus loin : elle se réserve le droit de poser au delà du mur de façade le siphon, le clapet, le puisard, à établir comme garanties au départ du drain de branchement. En outre, les agents ont permission de pénétrer dans une habitation pour s'assurer que les conditions imposées par l'autorité sont observées : les infractions peuvent entraîner l'amende et même la prison.

Quant aux dépenses à recouvrer par la ville, elles sont de deux sortes. Les travaux faits pour le compte des particuliers sont réglés aux prix des tarifs approuvés : les travaux de la canalisation, de la construction et de l'entretien comportent un travail d'ensemble. Ici, le principe est que chaque immeuble rattaché au drainage public doit une part proportionnelle de la dépense totale ; par suite on établit le compte d'intérêts et d'amortissement du capital : on ajoute les frais d'entretien, et l'on opère la ventilation par

immeuble : les tableaux de répartition sont affichés avant le 1[er] janvier de l'exercice : l'acquittement doit se faire par trimestres, comme en matière de contributions publiques. En cas de réclamations, on a le recours devant le Conseil royal de Potsdam.

Ainsi la distribution d'eau et le drainage sont obligatoires : nul propriétaire ne peut s'y soustraire, dès que la ville a établi dans un quartier la canalisation souterraine. La taxe est non pas fixe, mais proportionnelle. Elle doit couvrir tous les frais de l'opération, en répartissant les charges sur l'ensemble des immeubles qui jouissent des avantages d'une salubrité supérieure. C'est presque notre loi de desséchement.

6. *Canalisation des voies publiques.* — Puisque l'habitation privée est tenue à la salubrité par l'expulsion immédiate et souterraine des eaux ou des résidus liquides, même charge incombe aux voies publiques.

Ici, la solution consiste à reporter en sous-sol les lignes d'écoulement existant à ciel ouvert sur les revers et le long des chaussées. Des drains doubles et parallèles répondront aux alignements des trottoirs, se joindront aux carrefours, iront se verser dans un égout qui rassemblera leurs eaux pour les porter au collecteur. Ainsi trois réseaux : le réseau tertiaire, formé par des tuyaux en poterie de $0^{m},22$ de diamètre, circule en double par toutes les rues; le réseau secondaire, constituant les rameaux, est formé par des tuyaux de grès de $0^{m},45$, ou des égouts de briques à type ovoïde, réglés à 2/3, c'est-à-dire que l'ouverture a les 2/3 de la hauteur, qu'il y a $0^{m},80$ aux naissances quand il y a $1^{m},20$ entre le radier et la clef : enfin, les artères de 1[er] ordre, les collecteurs figurant les troncs, sont encore des galeries ovoïdes en briques, aux diamètres de $1^{m},33/2^{m},00$, qui admettent facilement la visite.

Les eaux des rues descendent aux égouts par des grilles à puisard, où tombent les débris solides, et d'où s'échap-

pent par siphonnement les liquides. Aux croisements, des regards, sur le parcours des lignes maîtresses et secondaires, des trous d'hommes avec plaques à jour établissant la ventilation naturelle dans les galeries.

Les collecteurs peuvent-ils, comme à Paris, prendre racine dans un émissaire unique, qui les perdrait à la rivière ou les livrerait aux machines d'épuisement? Non, Berlin est situé presque de niveau dans une plaine, où la nappe est partout près du sol, comme si l'on avait bâti une grande ville dans la plaine de Gennevilliers. On ne peut s'enfoncer sans rencontrer l'eau bientôt. Dès lors, il a fallu fractionner l'assainissement par arrondissements, qui possèdent chacun leur usine, leur puissance d'épuisement.

7. *Service des machines.* — La surface bâtie, est, avons-nous dit, de 2.560 hectares, répartis en 1.600 hectares appartenant à la rive droite, et formant deux arrondissements, et 960 hectares appartenant à la rive gauche, et formant trois arrondissements. Il y a à peu près partage égal de population, à peu près 400.000 habitants de chaque côté. Mais la densité la plus grande est dans Friederickstadt (240 hectares), dans le quartier du boulevard, des magasins, des hôtels, des ministères. Là, les travaux sont terminés, et leur mise en service vient de se faire. Les collecteurs, descendant de la porte de Brandebourg et de la porte de Leipzig, amènent le flot du drainage de l'arrondissement, à une machine de 360 chevaux, établie près la gare du Midi, près la station du chemin de fer de Dresde. En avant de la galerie d'aspiration, les eaux rencontrent un grand puits circulaire de 12 mètres de diamètre, séparé par une claire-voie de filtrage : c'est toujours la même précaution contre l'introduction des solides dans les conduites, où l'on ne veut admettre que des liquides. Les machines sont horizontales : elles mènent des pompes à haute pression et à double effet, avec soupapes à clapets multiples. Car il s'agit d'obtenir un refoulement à 15 kilo-

mètres de distance et à 21 mètres de hauteur au-dessus du niveau d'aspiration, c'est-à-dire qu'en tenant compte du volume à transporter, il faut travailler en service forcé à quatre atmosphères. La voie de refoulement est une double conduite en métal de 1 mètre et $0^{m},75$ de diamètre, destinée à porter jusqu'à Marienfelder le tribut des trois usines de la rive gauche. Elle débouche aux points hauts d'un domaine de 824 hectares, qu'on va soumettre à la culture des légumes, des racines, et des plantes fourragères, déjà essayée avec succès au Thiergarten. Sur la rive gauche mêmes dispositions; les deux arrondissements ont chacun une usine et une conduite spéciale de 1 mètre de diamètre, laquelle aborde par les deux extrémités le domaine de Falkenberg, de 736 hectares d'étendue, à 13 kilomètres de distance et à 30 mètres de hauteur au-dessus du niveau d'aspiration. De ce côté c'est un service à cinq atmosphères. Cinq machines de 400 chevaux environ s'attribuent donc les parts diverses d'un drainage qu'on évalue à 100.000 mètres par jour en y comprenant les pluies. Si l'on regarde le plan, on verra qu'il faut en outre sur les deux rives de la Sprée, et au cœur de la capitale, deux usines de relais qui ramassent au centre les eaux basses, pour les livrer aux véritables usines de transmission placées sur la circonférence.

Voilà les travaux qui coûteront 40 millions, et dont l'élément important, la canalisation de Friederikstadt, du quartier de luxe, fonctionne aujourd'hui depuis le 1er novembre; les eaux que la transformation successive des maisons et des rues amène aux collecteurs, y sont épuisées et refoulées sur le domaine de Marienfelder, où les sables et la culture sont chargées de révivifier les liquides, de restituer à l'état de pureté à la nappe les eaux que la distribution en a tirées. Du premier jour, le cercle est parcouru, les lois naturelles sont satisfaites, et le service ne pouvait pas se faire autrement, dès que la rivière devait cesser d'être un égout.

8. *Comparaison avec Paris et Londres.* — Pour apprécier cet ensemble, dont on peut critiquer les détails, mais dont il faut reconnaître la hardiesse, il est bon de rappeler comment l'assainissement se poursuit dans les deux villes qui servent de modèle, Londres et Paris. — Dans le Nord, où le froid et l'humidité exigent un intérieur confortable et bien aménagé, la maison devient le point essentiel du service; dans nos climats tempérés, au contraire, où l'on vit beaucoup dehors, c'est la voie publique qui commande. Les rues en Angleterre ne sont pas belles; mais si vous pénétrez dans l'habitation, vous la trouvez parfaitement organisée au point de vue domestique : cuisine, cabinets de toilette, water-closet, ont l'eau abondante, la perte immédiate à l'égout, et comme le sous-sol est l'étage du personnel domestique, un drainage profond est devenu indispensable. Il a entraîné une canalisation colossale, puisqu'elle assainit une superficie de 21.000 hectares, où vivent près de quatre millions d'habitants. Les types sont le tuyau de poterie pour la maison, l'égout ovoïde pour la rue, le tube circulaire en maçonnerie, jusqu'aux proportions de 3 mètres de diamètre pour les collecteurs. Les machines épuisent, se succédant par relais, quand la pente fait défaut, et le tribut des deux rives de la Tamise tombe dans la baie. On sait très-bien qu'il faudrait utiliser ce courant de déjections, qui a coûté si cher, puisqu'il représente la dépense d'alimentation de la ville la plus peuplée et la plus riche qu'il y ait au monde. Mais on recule devant une nouvelle dépense de cent millions, qu'il faudrait appliquer à l'irrigation; on attend que l'industrie privée y trouve bénéfice, et on laisse les petites villes, Merthyr par exemple, créer des spécimens qu'on vante, mais que la métropole n'imite pas encore.

Revenons vers Paris. Ici, l'appartement est charmant de disposition; il suffit d'aller dans l'est de l'Europe, d'y rencontrer dans les chambres la tristesse d'un poêle de faïence,

pour reconnaître combien la cheminée ouverte et brûlant un feu de bois est un élément heureux de décoration et de gaieté. Quant aux services domestiques, ils s'améliorent, mais restent encore imparfaits. La cuisine est petite et sans arrière-cuisine; le cabinet de toilette est rare, surtout avec les aménagements qui permettent l'entrée et la sortie mécanique de l'eau; le water-closet est un luxe et la fosse à vidange empoisonne parfois le salon. Si vous sortez, au contraire, tout est presque à approuver. Des façades en pierre dure et blanche de couleur, admettant la sculpture, des perspectives de monuments, des eaux jaillissantes, de larges dallages en granit ou en asphalte, des chaussées balayées et arrosées, enfin des attentions qui rendent agréable et facile la vie en plein air. Mais aussi il est entendu que le ménage de la voie publique se fera en sous-sol; on jette tout aux égouts par les bouches, la neige, la boue, même celle du macadam; de là une canalisation de grand type, partout accessible aux ateliers de curage. La maison doit avoir un branchement de $0^m,90/2^m,00$, lequel serait à l'étranger un collecteur. Le collecteur prend le profil à banquette, admet les rails et le wagon, peut recevoir les conduites d'eau, s'il ne reçoit pas les conduites de gaz, qu'il faudrait peut-être poser dans un étage supérieur, comme l'a fait M. Haywood au viaduc d'Holborn. L'émissaire est si large qu'il porte bateau; il est la *Cloaca Maxima* de Rome, transformée par la science moderne. Au delà de l'émissaire commence la restitution au sol; la ville accepte le devoir de ne pas salir la rivière; elle a, par de larges sacrifices, créé les irrigations et la culture libre dans la plaine de Gennevilliers. Chacun prend l'eau comme il lui plaît, en fait l'usage qui convient à ses récoltes, et malgré des réclamations intéressées, le mouvement grandit chaque année, sans jamais perdre le terrain qu'il a une fois conquis. On disait que le sol se couvrirait d'une croûte impénétrable à l'eau; la charrue façonne une terre noire, riche et légère. On affirmait que

les caves seraient inondées et l'eau des puits malsaine. La nappe est si vaste qu'elle semble, dans ses oscillations de niveau, insensible au faible apport des irrigations, et quand elle sort de la paroi de limon argileux qui la sépare du fleuve, elle est d'une pureté organique absolue; elle est une source où viennent boire les habitants. Enfin, on affirmait que la fièvre, que la *malaria* s'échappait de ces ruisseaux d'eau noire. Or, à l'inverse de ce qui se passe trop souvent en Algérie, aucun des travailleurs n'a été malade; les doubles récoltes enrichissent si bien le cultivateur qu'il développe chaque année son jardin ou son champ, qu'il paye la terre trois fois ce qu'elle était louée autrefois. — Paris a donc reconnu et appliqué les trois principes : l'eau abondante et pure, et la Vanne en est l'expression ici comme les sources du Semring à Vienne; le réseau souterrain, avec les profils les plus amples, les plus accessibles à la circulation de l'eau et de l'air, comme à la visite des hommes; enfin l'irrigation des grèves perméables et cultivées, pour assurer la révivification des eaux impures. Seulement, pour respecter les habitudes, il n'y a ici d'obligatoire que le drainage sous les voies publiques; la distribution d'eau à domicile, l'irrigation dans la plaine sont laissées à la libre disposition de l'intérêt privé.

9. ***Résumé et conclusions.*** — Berlin qui avait tout à faire et qui était placé entre ces deux modèles de Londres et de Paris a pris résolûment son parti. Il fallait d'abord transformer la maison : les règlements exigent qu'elle ait l'eau, le water-closet, la perte à l'égout; pour que cela soit conquis sur l'apathie des propriétaires, dans le délai de six semaines le plan du drainage de l'immeuble doit être fourni à l'administration, qui opère d'office si la bonne volonté fait défaut. Les rues manquaient de trottoirs et de chaussées régulières; un drainage souterrain remplace les fossés dangereux qui étaient des égouts. Le réseau tertiaire des drains aboutit à des rameaux en galerie de petit type ovoïde, pour tomber

aux artères de premier degré, qui sont des galeries de grand type toujours ovoïdes. On n'admet que les liquides et l'on prend, par les siphons, par les puisards. tant de précautions contre les solides, qu'on se soumet à des mains-d'œuvre de curage qui certainement seront coûteuses et peut-être insuffisantes. Les entrées libres des regards de Paris, les grandes sections des types à banquettes vaudraient mieux sans aucun doute car alors on peut se préoccuper beaucoup moins des solides, qu'on livre au courant de l'eau et au travail automoteur des bateaux-vannes. Mais on avait un sol de niveau et la nappe bien près du sol. Il fallait opter pour le drainage le moins profond : on arrive ainsi à la nécessité de fractionner l'épuisement en cinq usines, une par arrondissement; cela même ne suffit pas et il faut sur les deux rives de la Sprée deux usines de relais envoyant les eaux basses du centre aux pompes de la circonférence, au refoulement définitif vers la campagne.

La restitution, elle est franchement acceptée. Deux domaines de 800 hectares sont acquis à 13 kilomètres de distance, et à 20 ou 30 mètres au-dessus des niveaux d'épuisement de la ville. On ne pouvait songer à attendre les délais de la culture libre et les convictions à faire chez les paysans. Il fallait irriguer sans retard et compter sur l'évidence pour convertir les esprits. Dès le jour où les machines ont marché, où elles ont drainé la ville nouvelle Friederickstadt, elles ont arrosé les sables de Marienfelder. C'est là un hardi résultat. Sans doute ce n'est que le début et il faudra au moins dix ans pour réaliser le programme et dépenser les 40 millions, dont les dix premiers sont déjà vivants dans les travaux de M. Hobrecht Mais le plus difficile est fait; on a une idée nette de la solution et on la voit réalisée; le reste, y compris les corrections, arrivera avec le temps.

Si, pour finir, on nous permet une pensée, nous répéterons notre conviction : que l'échange des procédés est le progrès, qu'il faut aller étudier au nord l'amélioration du service do-

mestique de l'habitation, et venir observer à Paris le service de la voie publique. En s'assimilant ce qu'il y a de bien des deux côtés, en l'appliquant dans la mesure du possible aux habitudes qu'on est chargé de satisfaire, on développera l'hygiène et la salubrité, on allongera la vie moyenne de l'habitant des grandes villes.

Paris, le 5 novembre 1875.

N. B. — Je dois les renseignements et le plan de cette notice à la science et à l'obligeance de M. Hobrecht, ingénieur en chef de l'assainissement de Berlin.

DOCUMENTS-ANNEXES.

I. — Ordonnance de police du 14 juillet 1874.
II. — Arrêté du maire du 4 septembre 1874.
III. — Prescriptions de police du 8 août 1875.

I. — Ordonnance de police.

Le préfet de police,

Vu les articles 5, 6 et 11 de la loi du 11 mars 1850,

Le conseil communal de la ville de Berlin entendu,

Arrête :

§ 1. Dans les quartiers et les rues déjà pourvus de la canalisation souterraine, chaque immeuble sera relié à l'égout public par un branchement ou drain.

Ce drain servira à l'écoulement des eaux pluviales, domestiques et ménagères, ainsi qu'à la perte des liquides de water-closets.

Il sera interdit aux débris solides, ordures et balayures de cuisines, cendres de foyer, sable.

§ 2. Dans les quartiers où devront s'exécuter les travaux de canalisation souterraine, aucune nouvelle fosse à vidange ne sera plus autorisée. Les fosses existantes devront, dans le délai de six semaines après notification, cesser d'être rattachées au drain de l'habitation.

§ 3. Dans le délai de six semaines après les publications régulières de la transformation du drainage, les propriétaires ou régisseurs sont tenus de déposer un projet d'assainissement complet de leur immeuble et de le soumettre au contrôle de l'administration.

L'exécution devra commencer six semaines au plus tard après l'envoi de l'approbation des projets.

§ 4. La mise en service n'aura lieu qu'après constatation que les conditions de l'approbation ont été remplies.

§ 5. Aussitôt la canalisation souterraine achevée, tout drainage à ciel ouvert sera supprimé dans les rues.

§ 6. Les jonctions actuelles des maisons avec les ruisseaux disparaîtront ou seront modifiées conformément aux mesures suivantes :

Les tuyaux d'évent des fosses seront prolongés jusqu'aux toitures, ou mis en communication avec les cheminées.

Chaque évier de cuisine sera pourvu d'une grille fixe. La perte sera terminée par une fermeture hydraulique, qui est également imposée aux water-closets.

La descente des eaux pluviales dans les cours se fera par des grilles dont la construction sera soumise au contrôle.

Le drain de l'habitation aura, contre le mur de façade et avant de tomber à l'égout, une fermeture hydraulique et un clapet automobile. Les tuyaux de descente verseront directement à l'égout, mais après traversée d'une fermeture destinée à arrêter les débris solides, venus des toitures.

§ 7. L'écoulement à ciel ouvert des eaux industrielles et de condensation pourra être permis par décision spéciale.

§ 8. Le trottoir sera séparé de la chaussée par une bordure en granit de $0^m,25$ sur $0^m,30$.

§ 9. Toutes dispositions antérieures, en ce qu'elles ont de contraire à la présente ordonnance, sont annulées.

§ 10. Les contraventions, en dehors des cas prévus par les lois existantes, seront punies d'une amende de 1 à 10 thalers, de 3 à 30, ou de la prison, si le délinquant ne peut payer.

La peine ne fait pas obstacle à l'exécution d'office, s'il y a lieu.

Berlin, 14 juillet 1874. *Le préfet de police,*
Von Hertzberg.

II. — Arrêté du maire.

Le maire de la ville de Berlin.

Vu l'article 11 de l'ordonnance du 30 mai 1853, et l'article 1 de l'ordonnance du 14 juillet 1874.

Arrête ce qui suit :

§ 1. Dans l'exécution du branchement qui doit relier l'habitation à l'égout public, toute la portion comprise sous la voie publique et le trottoir, jusques et y compris le clapet situé dans l'intérieur, concerne l'administration.

Le reste du travail d'assainissement de l'immeuble concerne le propriétaire.

§ 2. La suppression des ruisseaux à ciel ouvert, la pose des bordures et le raccord avec la chaussée, concernent l'administration.

Les dépenses sont à la charge des riverains, chacun en droit.

§ 3. Aucune modification au drainage d'un immeuble ne peut se faire sans autorisation.

§ 4 Les agents du service ont droit d'accès, pour constater l'état des choses.

§ 5. Tout immeuble mis en communication avec l'égout doit être aussi relié à la distribution d'eau.

§ 6. Le propriétaire est donc tenu de s'adresser de suite à la direction des eaux, pour application des conditions ordinaires d'abonnement.

Si, dans le délai de six semaines après notification, l'abonnement n'avait pas été demandé, il y serait pourvu d'office, et l'exécution suivrait aux frais du propriétaire.

§ 7. Chaque immeuble relié à la canalisation doit une contribution proportionnelle, payable par trimestres. La quotité est déterminée administrativement et publiée au commencement de l'exercice courant. La contribution totale doit couvrir les frais d'entretien, en même temps que l'intérêt et l'amortissement du capital engagé dans la canalisation.

§ 8. Les travaux exécutés aux frais des propriétaires sont réglés conformément aux tarifs approuvés par l'administration.

§ 9. Les rôles à acquitter par les propriétaires sont recouvrés comme en matière de contributions publiques.

§ 10. Un délai de six semaines est accordé aux intéressés pour se pourvoir près du Conseil royal de Potsdam, contre les décisions de l'administration municipale en matière de distribution d'eau et de drainage.

L'appel n'est pas suspensif, et la contribution doit au préalable être acquittée.

§ 11. Le présent arrêté sera revisé dans deux ans.

Approuvé le 11 septembre 1874.

Le ministre de l'intérieur,
Von Brauchitsch.

Berlin, 4 septembre 1875.

Le maire,
Hobrecht.

III. — Prescriptions de police.

Le préfet de police,

Vu l'article 10 de l'ordonnance du 14 juillet 1874, laquelle exige la production d'un projet d'assainissement pour chaque immeuble,

Prescrit :

Le projet comprendra les pièces ci-après :

1. Plan d'ensemble de l'immeuble;
2. Plan du sous-sol;
3. Coupe des bâtiments depuis le sous-sol jusqu'aux toitures;
4. Tracé du projet avec dimensions et cotes du drain de branchement et désignation de la nature des matériaux.

Le projet, accompagné de l'engagement du propriétaire ou régisseur, indiquera le nom de la rue et le numéro de l'immeuble, la destination des différentes parties, les cotes de hauteur par rapport au trottoir.

Il est recommandé de ne confier la rédaction des projets qu'à des hommes expérimentés, de manière à éviter les renvois de pièces

Berlin, le 8 août 1875.

Le préfet de police,
Von Hertzberg.

N° 24

ÉTUDE SUR LES ENDIGUEMENTS DE LA DURANCE DANS LE DÉPARTEMENT DE VAUCLUSE ET DANS LA COMMUNE DE PERTUIS EN PARTICULIER

Par M. HARDY, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

La Durance, qui, à cause de la grande pente de son lit, dispense, par ses importantes dérivations d'arrosage, la fertilité au loin sur ses deux rives, est une menace perpétuelle pour les terrains qu'elle baigne. Ces terrains qu'elle a formés elle-même et qui, comme toutes les alluvions, sont d'une grande richesse, sont exposés à chaque crue, là où le torrent est abandonné à lui-même, à être enlevés par les eaux ou submergés; aussi les travaux de défense ont-ils été de tous les temps. Des vestiges d'anciennes constructions attestent leur incohérence aussi bien que la mobilité du lit du cours d'eau. Comme cela arrive ordinairement, tout travail défensif pour la rive sur laquelle il était élevé était offensif pour l'autre rive, qui, se défendant à son tour, créait un nouveau danger pour la première; aussi peut-on dire qu'il n'y a eu que désordre jusqu'à ce que des travaux aient été entrepris d'après des plans d'ensemble. Les premières tentatives dans ce sens ont été faites par les États de Provence, par quelques communautés religieuses et par la ville d'Avignon. Le système le plus généralement suivi consistait dans la fixation d'un lit

mineur au moyen de digues submersibles en enrochement, dites palières, défendues dans les parties les plus exposées par des éperons, et dans l'établissement en arrière de digues en terre insubmersibles, ou chaussées. La palière arrêtant le courant de fond s'opposait à l'enlèvement des terres par érosion; la chaussée limitait le champ d'inondation au lit majeur. C'est d'après ce système que des travaux importants ont été exécutés par les Chartreux de Bompas et par la ville d'Avignon. La loi du 16 septembre 1807 vint aider à l'œuvre par l'association des intérêts. Dès l'année 1818, des syndicats furent institués pour exécuter les travaux d'endiguement aux frais des propriétaires intéressés avec le concours de l'État. Ce concours, fixé par l'usage au tiers de la dépense, est accordé en principe et n'est réalisé que dans la mesure des ressources disponibles; le payement des intérêts des subventions en retard, au taux de 5 p. 100, est à la charge du syndicat, seul engagé vis-à-vis des entrepreneurs.

Une ordonnance du 26 août 1825 institua une commission mixte chargée d'arrêter les plans annuels de campagne des travaux à exécuter d'après des tracés approuvés par l'administration supérieure. Ces tracés déterminant les alignements des digues submersibles furent approuvés de 1837 à 1843; ils fixaient une largeur de lit mineur de 250 mètres à l'entrée de la Durance dans le département de Vaucluse, portée, par accroissements successifs de 250 à 400 mètres près de l'embouchure dans le Rhône. Les digues submersibles devaient avoir de 1^{m},50 à 2 mètres au-dessus de l'étiage et se raccorder aux ouvrages existants. Elles ne pouvaient produire d'effet appréciable pour la formation d'une berge de lit mineur par colmatage, qu'à la condition de se rattacher à des points élevés de la vallée par des traverses percées de martellières pour donner passage aux eaux troubles, car autrement les grandes eaux auraient pu passer derrière et y causer tous les désordres

qu'on voulait éviter; d'un autre côté ces digues ne pouvaient qu'être d'un établissement très-dispendieux, tant à cause de leur long développement que de la nécessité de les défendre énergiquement au moyen d'enrochements, parce que, comme cela arrive toujours pour les constructions sur les torrents, le courant principal s'établissait dans leur emplacement même. On prit donc le parti, pour aller plus vite en besogne avec les ressources dont on pouvait disposer, de ne faire que des éléments de la digue longitudinale reliés aux points insubmersibles de la vallée par des digues normales sur ces éléments, lesquelles, pour préserver les terrains en aval de la submersion à l'eau courante, devaient être insubmersibles. On a été ainsi conduit à reproduire la digue transversale à T dont la pratique était déjà ancienne sur la Durance (*). Depuis la constitution des syndicats, le premier spécimen de digue de ce genre a été proposé en 1842, par M. l'Ingénieur en chef Perrier, pour la défense du territoire de Cavaillon. A l'exception de quelques palières dans la basse Durance, sur le territoire d'Avignon, on n'en a plus fait d'autres, depuis, dans le département de Vaucluse. Ces digues transversales, bien

(*) Il est parlé de digues de ce genre dans un ouvrage d'un M. Beraud, de l'Oratoire, professeur de mathématiques et de physique expérimentale au collége de Marseille, publié à Aix en 1791, et intitulé : *Mémoire sur la manière de resserrer le lit des torrents et des rivières.*

Dans cet ouvrage l'auteur donne la figure d'une digue transversale à T; mais il dit qu'on fait le plus souvent cette sorte de digue en forme d'L, dont la barre inférieure forme la branche longitudinale d'amont. Il s'élève contre cette disposition qui laisse le talus aval de la digue transversale sans défense, et recommande de former le T complet par le prolongement de la digue longitudinale, en aval de l'axe de la digue transversale. Il préconise les digues en terre défendues par des plantations de préférence aux digues en enrochements, même pour les extrémités en plein courant. Nous ne savons pas si, pour ce cas, il en a jamais été fait de ce genre; ce qu'il y a de certain, c'est que si sur son conseil on en a fait, il n'en reste plus, depuis longtemps, aucun vestige.

qu'elles soient insubmersibles sont beaucoup moins dispendieuses à construire que les digues longitudinales moins élevées, parce que, par l'effet de la branche amont du T qui diminue la vitesse le long de la digue transversale dans le sens de sa longueur, cette digue n'a plus à résister pour ainsi dire qu'au poids de l'eau, et peut être tout simplement en terre ou gravier avec perré maçonné sur le talus d'amont seulement. La digue longitudinale au point où s'y enracine la digue transversale doit être insubmersible comme elle, sur une longueur de quelques mètres de chaque côté de son axe; mais, dans la partie amont elle doit être submersible afin de prévenir par déversement une trop grande accumulation d'eau devant la digue transversale, qui sans cette précaution serait surmontée et infailliblement détruite. Plus la branche amont du T est longue, plus le colmatage devant la branche transversale a de largeur, et mieux cette digue est préservée; l'expérience a démontré que la longueur de cette branche amont devait varier de 60 à 80 mètres. Quant à la branche aval, elle n'a d'autre rôle à jouer que de rejeter les eaux dans le lit mineur et d'empêcher ainsi la formation d'un courant le long du talus aval de la digue transversale, ce qui entraînerait sa ruine; 25 à 30 mètres de longueur suffisent pour produire cet effet. Tout l'effort des crues se trouve ainsi concentré sur l'élément de digue longitudinale, principalement à l'amont; aussi faut-il qu'il soit très-solidement établi, en blocs d'enrochement avec risberme (*), ainsi que la digue transversale qui s'y rattache et

(*) Les blocs d'enrochement sont habituellement employés dans les proportions ci-après :

1re catégorie, du poids de 1.200 kilog. et au-dessus. . . .							$\frac{4}{12}$
2e	—	—	800	—	à 1.200 kilog. . . .		$\frac{3}{12}$
3e	—	—	400	—	à 800	— . . .	$\frac{2}{12}$
4e	—	—	150	—	à 400	—	$\frac{3}{12}$

qui doit être continuée dans toute la partie du lit baignée par les eaux. On a soin de construire cette partie de digue à l'époque de l'étiage, et l'on s'efforce de détourner les eaux par des barrages en fascines et gravier à l'amont, afin de réduire autant que possible la partie de digue à construire dans ce système.

En rapprochant suffisamment les digues transversales munies de leur T terminal, le torrent ne peut plus décrire, d'un T à l'autre, que des courbes peu prononcées, et la berge présente une succession d'anses assez aplaties. L'expérience a indiqué que dans la partie de la Durance où la pente est de $0^m,003$ par mètre, l'espacement des digues doit être de 800 à 1.000 mètres. Quand, pour s'enraciner à un point insubmersible de la vallée, la digue transversale devrait avoir une trop grande longueur, ou ce qui revient à dire : quand, par suite du peu de relèvement en travers de la vallée, le champ d'inondation aurait une trop grande largeur, on infléchit la digue longitudinale vers l'amont à une certaine distance de son extrémité (de 400 à 500 mètres) pour gagner soit un point submersible en amont, soit la digue transversale immédiatement supérieure.

On a remarqué que lors des crues, les eaux prenaient, le long de la digue transversale, une pente égale à la moitié de celle du lit; c'est donc cette pente qu'on donne au couronnement de la digue transversale en enrochement et de la partie de cette même digue en terrassement qui lui fait suite; à la jonction de cette dernière partie avec celle qui la précède, son couronnement doit être élevé à $1^m,50$ au-dessus des plus hautes eaux connues. La même pente de moitié de celle du lit est continuée dans la partie infléchie vers l'amont.

Sur le prolongement de l'axe de la digue transversale, le couronnement de la digue longitudinale est élevé à $0^m,50$ au-dessus des plus hautes eaux connues. Ce couronnement

suit la pente du lit sur quelques mètres en dessus et en dessous, et se raccorde, par des plans inclinés à pente susceptible d'être descendue sans danger par une voiture chargée d'enrochements, avec les extrémités submersibles des branches amont et aval couronnées à 1 mètre en dessous des plus hautes eaux.

La partie de la digue transversale en enrochement, au point où elle se rattache à la partie centrale de la digue longitudinale, est élevée au même niveau qu'elle et suit, comme il a été dit plus haut, la pente de moitié de celle du lit jusqu'au point où la situation des eaux permet de commencer la partie en terrassement; la différence de niveau d'un mètre entre les deux parties de digue est rachetée par une rampe pouvant être descendue par les voitures chargées de blocs d'enrochement. Elle doit être inférieure à $0^{m},06$ par mètre. Une précaution indispensable à prendre pour éviter des filtrations qui ne manqueraient pas de se produire et pourraient avoir les plus fâcheuses conséquences pour l'existence de la digue en terrassement, est la construction, au point de jonction des deux parties de la digue transversale, d'un mur de 1 mètre d'épaisseur, de la forme du profil en travers de la digue transversale, avec contre-forts de même épaisseur de chaque côté. A cause de la forme de sa section transversale, cet ouvrage est désigné sous le nom de « mur en croix. »

Ainsi, il y a dans toute digue du système que nous venons de décrire quatre parties distinctes qui sont caractérisées ainsi qu'il suit, en partant de l'amont :

1° Une digue en terre et gravier non revêtue d'un perré du côté de l'eau, se rattachant soit à la digue précédente, soit à un point insubmersible de la vallée. Elle peut être longitudinale, c'est-à-dire parallèle à la ligne d'endiguement (berge du lit mineur), oblique par rapport à cette ligne, ou normale ;

2° Une digue en terre et gravier revêtue d'un perré du

côté de l'eau, avec ou sans enrochements au pied, suivant qu'il y a ou qu'il n'y a pas danger d'affouillement. Elle commence au point où le courant en temps de crue serait assez fort pour détruire un talus en terrassement, et se continue tant qu'on peut faire le remblais de la digue sans qu'il soit enlevé par le courant et fonder le perré, sans grands épuisements, un peu au-dessous des basses eaux de l'année; cette digue peut-être à son origine parallèle à la ligne d'endiguement ou oblique; elle est toujours normale à la ligne d'endiguement sur une plus ou moins grande longueur à son extrémité aval;

3° Une digue exclusivement en enrochements en prolongement de la précédente et séparée d'elle par le mur en croix, de plus ou moins grande longueur suivant la situation des eaux;

4° Une digue longitudinale formant T, d'une longueur de branche de 60 à 80 mètres en amont et de 25 à 30 mètres à l'aval.

Les travaux sont exécutés dans l'ordre que nous venons de suivre; les blocs d'enrochement, pesés à une bascule, sont amenés par voitures circulant sur une plus ou moins grande longueur, sur le couronnement de la digue en terrassement, et jetés en avant (on dételle les chevaux et on retourne la voiture sur une plaque tournante), pour former successivement les troisième et quatrième parties; c'est pour cela qu'il faut que les pentes de raccord de la seconde partie avec la troisième, et de la partie centrale de la digue longitudinale avec ses extrémités puissent être descendues par une voiture.

Les digues transversales à T doivent toujours être en face, sur l'une et l'autre rive; autrement il y aurait incidence d'une rive à l'autre, et les anses entre les T seraient plus creuses. Quand les deux éléments de digue longitudinale sont vis-à-vis l'un de l'autre, les deux composantes normales à ces éléments, de direction opposée, se détrui-

sent, et le courant suit une direction à peu près parallèle à la ligne d'endiguement. C'est ce qu'il est toujours assez difficile de faire comprendre aux syndicats, disposés naturellement à se défendre sur le point menacé, qui n'est pas, comme de raison, vis-à-vis la digue construite sur la rive opposée.

La plus grande inondation connue est celle du 2 novembre 1843. Les eaux de la Durance s'élevèrent à 4 mètres environ au-dessus de l'étiage. En appliquant la formule d'Eytelwein aux hauteurs d'eau relevées au passage de Mirabeau, situé à 10 kilomètres au-dessus de Pertuis, et correspondant à un bassin de réception de 1.174.075 hectares, on a trouvé que le débit de cette crue, à son maximum, s'était élevé à 5.000 mètres cubes à la seconde ; en étiage le débit de la Durance au même point n'est que de 50 à 60 mètres cubes.

Cette inondation mémorable, qui causa de grands désastres dans toute la vallée de la Durance, imprima une vive impulsion aux travaux d'endiguement. De tous les syndicats de la rive droite, ce fut celui de Pertuis qui montra le plus d'empressement à se défendre, et aujourd'hui il est récompensé de ses efforts par une sécurité à peu près complète. Les résultats de l'œuvre sont dès à présent assez appréciables pour qu'il soit intéressant de les faire connaître.

Pour une longueur de 10.570 mètres de rive, depuis les rochers de la Loubière, où commence la plaine de Pertuis, jusqu'à la commune de Villelaure, huit digues ont été construites. Il n'existait avant 1843 qu'un élément de la digue longitudinale et submersible dite le Grand-Fort de la Loubière, construit au commencement du XVIII[e] siècle. A l'exception de cette dernière digue longitudinale qui a été prolongée dans le même système, et qui forme la tête de la défense de la plaine de Pertuis, toutes les autres sont transversales à T.

Les digues construites ainsi que celles à achever ou à construire sont indiquées sur le plan de la plaine de Pertuis (Pl. 11, *fig.* 5), les premières par un trait plein, les secondes par un trait ponctué. Elles sont représentées en hauteur, relativement à l'étiage et aux deux dernières crues les plus fortes, celles du 2 novembre 1843 et du 20 octobre 1872, sur le profil en long de la Durance dans l'étendue du plan (Pl. 11, *fig.* 6).

Les dépenses faites depuis 1843 à la charge du syndicat, de l'État et du département, sont indiquées dans le tableau ci-après :

INDICATION des digues.	DÉPENSES faites sur les fonds. du syndicat.	de l'État.	du département.	DÉPENSE totale par digue.	OBSERVATIONS.
Grand Fort de la Loubière sur 565 mètres de longueur.	francs. 24.816	francs. 25.000	francs. »	francs. 49.816	Digue longitudinale submersible.
Digue de l'Ebrette. . . .	71.442	40.721	»	112.163	
— de la Corrèze. . .	55.351	27.675	»	83.026	Inachevée.
— du Mulet.	38.593	19.296	»	57.889	Protége une route départementale, inachevée.
— de Saint-Roch. . .	36.194	23.097	20.000	79.291	
— du pont suspendu.	82.037	41.018	»	123.055	
— de l'Eze.	49.578	24.789	»	74.367	
— de Réparade. . .	73.813	36.906	»	110.719	
Réparations d'avaries, travaux accessoires et entretien.	66.249	8.268	1.500	76.017	
Dépenses communes à toutes les digues à la charge exclusive du syndical :					
Salaires de surveillants.	12.634				
Honoraires des ingénieurs.	18.615				
Acquisitions de terrains.	13.477				
Confection de la matrice syndicale des rôles et des avertissements. . .	11.799				
Remises au receveur du syndicat.	25.330				
Traitement du secrétaire.	7.250				
Frais de bureau.	2.645				
Frais d'actes de vente et d'emprunts, honoraires et enregistrement. . . .	4.815	»	»	275.079	
Gratifications, honoraires d'avocats et dépenses diverses.	3.033				
Contribution foncière. . .	784	. . . . .	. . . . .	. . . . .	Pour les terrains, occupés par les digues, compris dans la matrice cadastrale.
Intérêts d'emprunt ou de sommes dues à des entrepreneurs.	172.298				
Indemnités à des entrepreneurs pour résiliation d'adjudication. . .	2.399				
Totaux.	773.152	246.770	21.500	1.041.422	

Avant la construction des digues, la situation de la Durance était celle indiquée sur le plan par un trait pâle. Le large espace entre les branches extrêmes des deux rives était recouvert de gravier ; les terres cultivées s'arrêtaient à la ligne ponctuée. Toute la plaine jusqu'au canal de Cadenet, qui se développe au pied du coteau, était exposée à la dévastation, soit par submersion, soit par érosion, la

Durance changeant de lit à chaque crue un peu forte. Aujourd'hui les graviers ont été colmatés dans l'étendue portant le signe conventionnel des broussailles. Ce sont des ramières, dès à présent susceptibles de produit et qui seront défrichées lorsque le sol sera un peu plus élevé au-dessus de l'étiage. Les terres sont cultivées là où divaguait la Durance, et toute la plaine est à l'abri des inondations et des corrosions.

L'étendue des terrains colmatés est de 230 hectares, et celle des terrains autrefois non cultivés, et qui le sont maintenant, est de 250 hectares; enfin la superficie de la plaine préservée de l'inondation et de la corrosion est de 1.120 hectares.

Les terrains colmatés ont actuellement une valeur de 850 francs l'hectare qui est à porter en entier au compte de la plus-value, puisqu'ils n'existaient pas auparavant.

Les terrains devenus cultivables, qui anciennement pouvaient produire quelques bois et étaient utilisés pour le pâturage, valaient 400 francs l'hectare; leur valeur actuelle est de 2.400 francs; c'est donc 2.000 francs par hectare à porter au compte de la plus-value.

Si l'on se reporte à l'époque immédiatement antérieure à l'exécution des travaux d'endiguement, on trouve que la valeur des terrains cultivés dans la plaine de Pertuis a plus que doublé. Plusieurs causes ont contribué à cette augmentation considérable de valeur, une générale : le développement de la richesse publique, d'autres locales : la construction du canal de Cadenet, qui arrose toute la plaine, et l'endiguement de la Durance. Il résulte de renseignements circonstanciés pris sur les lieux que cette dernière cause peut entrer dans la plus-value totale pour une somme de 600 francs par hectare.

Le compte de la plus-value résultant des travaux d'endiguement peut donc être établi de la manière suivante :

	francs.
230 hectares de terrain colmaté à 850 fr. l'un.	195.500
250 hectares de terrain devenu cultivable à 2.000 f. l'un.	500.000
1.120 hectares de terrain préservé à 600 fr. l'un.	672.000
Plus-value totale.	1.367.500

D'après le tableau ci-dessus des dépenses, ce résultat a été acheté par les propriétaires syndiqués au prix de 773.152 francs; on peut donc dire qu'ils ont été largement récompensés de leurs sacrifices, si l'on considère surtout, que l'exécution des travaux est récente, qu'ils ne sont même pas tous terminés et qu'ils n'ont encore pu, par conséquent, porter tous leurs fruits.

Le même tableau nous fait voir que l'État a contribué à l'exécution des travaux pour une somme de 246.770 francs. Il est intéressant de savoir si lui aussi a fait une bonne affaire; c'est ce dont nous avons essayé de nous rendre compte.

L'État intervient dans les travaux de la Durance à divers titres: par devoir d'abord, comme propriétaire de la Durance et comme responsable, jusqu'à un certain point, en cette qualité, des dégâts occasionnés par ses débordements; par intérêt ensuite, au point de vue du développement de la richesse publique, qui profite à l'accroissement du produit des impôts indirects et du rendement des impôts fonciers et sur les mutations.

Traduire en chiffre la part des travaux d'endiguement, dans l'accroissement du produit des impôts indirects serait chose si difficile que nous ne le tenterons pas; nous nous bornerons à constater que cette part existe puisque, par le fait des travaux d'endiguement, la richesse territoriale a été augmentée.

Tant qu'on ne procédera pas à la révision du cadastre, la plus-value de 672.000 francs, acquise par les 1.120 hectares de terrain, préservés par les endiguements, et anciennement cadastrés, ne profitera pas à l'État; mais la

loi du 21 mars 1874, par laquelle l'impôt foncier devra être appliqué aux terres mises en culture ou devenues productrices depuis la confection du cadastre, après toutefois qu'elle aura été complétée par les dispositions propres à en assurer la juste application, attribuera au trésor public dans la plus-value de 695.500 francs, acquise par les 230 hectares de terrain colmaté et les 250 de terrains devenus cultivables, une part qui peut être évaluée à 23.183f,33 en capital. L'impôt perçu au profit de l'État étant, en effet, actuellement, pour le département de Vaucluse, du dix-huitième (*) du produit net de la terre, et ce produit net pouvant être évalué à 3 p. 100 du capital représentant la valeur de la terre, une augmentation de 695.500 francs produira une augmentation d'impôt égale à $\frac{695.500^f \times 0^f,03}{18}$ correspondant à un capital de

$$\frac{695.500^f \times 0^f,03}{18 \times 0,05} = 23.183^f,33.$$

Les mutations portent sur les trois natures de terrains ayant acquis ensemble une plus-value de 1.367.500 francs. Des recherches faites au bureau de l'enregistrement de Pertuis, il résulte que, dans l'espace de neuf années, de 1866 (première année dans laquelle a été tenu le répertoire) jusqu'à 1874 inclus, sur les 1.600 hectares formant l'association syndicale de Pertuis, 656, d'une valeur déclarée de 2.158.210 francs, ont changé de mains par suite de ventes, successions ou donations entre-vifs, ce qui répond à un changement de propriétaire tous les vingt-deux ans (**), et ont rapporté à l'État, du fait de l'impôt sur les

(*) Au moment où l'on a fait le cadastre dans Vaucluse, l'impôt foncier a été fixé au douzième du produit net de la terre. Il s'est abaissé jusqu'au trentième dans les années de prospérité, alors qu'il n'y avait ni phylloxera, ni concurrence à la garance par les dérivés de la houille.

(**) Pour l'ensemble du département de Vaucluse, la propriété

mutations, 91.882 francs, soit par an et par franc de la valeur déclarée, $\frac{91.882^{f}}{9 \times 2.158.210^{f}} = 0^{f},0047$. Pour une augmentation de valeur de 1.567.500 francs l'augmentation du produit de l'impôt sur les mutations, sera donc de $1.567.500^{f} \times 0^{f},0047$ soit de $6.425^{f},25$, représentant un capital de 128.500 francs.

Enfin la préservation des terrains garantira l'État contre les dégrèvements motivés sur les pertes de capital (terrains enlevés par les crues) et de revenu (destruction de récoltes) éprouvées par les contribuables du fait des inondations et l'exonérera des secours qu'il accorde, en pareille circonstance, aux contribuables dans le besoin. Nous n'avons retrouvé dans les archives de la préfecture, sous formes de procès-verbaux d'estimation de pertes homologuées par le conseil de préfecture et de décisions du ministre de l'intérieur qui accorde les secours, d'autres renseignements concernant la plaine de Pertuis, que ceux résumés dans le tableau ci-après :

---

change de mains tous les vingt-quatre ans. Nous avions cru qu'en raison de la grande division des terrains de la plaine de Pertuis, et de leur grand rapport qui en fait, pour ainsi dire, une matière industrielle, la période serait, pour eux, beaucoup plus courte, et c'est pour cela que nous nous étions déterminé à faire des recherches spéciales ; elles nous ont conduit, contrairement à notre attente, à un résultat peu différent de l'ensemble du département. Malgré la nature particulière de ces terrains, bien différente de la grande propriété territoriale, il y a relativement peu de ventes ; les mutations sont dues principalement aux successions qui produisent le moins à l'État. En résumé, les 656 hectares ayant changé de mains en neuf années se composent ainsi :

Par suite de ventes.	167 hectares.
Par suite de successions.	419 —
Par suite de donations.	70 —
Total pareil.	656 hectares.

DATES des inondations.	PERTES par suite des inondations.			REVENU matriciel net perdu.	REMISES ou modérations accordées sur la contribution foncière.	SECOURS.
	En capital provenant d'enlèvement ou de corrosion de terrain.	En récoltes.	Totales.			
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
9 et 10 novembre 1834.	17.815	»	17.815	104,72	41,74	1.000
Juin 1842.	»	24.312	24.312	1.307,89	314,75	320
2 novembre 1843.	288.281	47.609	335.890	2.499,74	819,52	2.880
17 avril 1848.	56.680	5.580	62.260	561,37	239,67	1.900
Totaux.	362.776	77.501	440.277	4.473,72	1.415,68	6.100

De 1817 jusqu'à ce jour, c'est-à-dire dans l'espace de 58 années, la plaine de Pertuis a été inondée ou aurait été inondée, si les digues n'avaient pas existé, dix-huit fois (*), soit une fois tous les trois ou quatre ans. Il est donc à peu près impossible qu'il n'y ait pas eu d'autres dégrèvements que ceux portés au tableau ci-dessus; d'autant mieux qu'à l'exception d'une seule crue, celle du 2 novembre 1843, les quatre autres, ayant motivé des dégrèvements, n'ont pas été très-fortes. Il faut donc croire que tous les procès-verbaux de perte n'ont pas été classés dans les archives de la préfecture; quoi qu'il en soit, il nous a été impossible de nous procurer de plus amples renseignements.

Une perte de terrains d'une valeur de 362.776 francs équivaut pour l'État, en tablant sur le dix-huitième pour le rapport de l'impôt au revenu de la terre, et sur le 3 p. 100

(*) Les dates des inondations sont les suivantes :

Octobre 1817.
25 décembre 1821, très-forte crue.
Décembre 1824.
Février 1829.
9 et 14 novembre 1834.
Novembre 1840, très-forte crue.
Novembre 1841.
Juin 1842.
2 novembre 1843, plus forte crue connue.
17 avril 1848.
Décembre 1850.
22 mai 1856, très-forte crue.
26 septembre 1860, très-forte crue.
22 novembre 1870.
20 octobre 1872.
3 décembre 1872.
19 mars 1873.

pour le rapport de ce revenu à la valeur de la terre, à une perte en capital de $\frac{362.776^f,00 \times 0^f,03}{18 \times 0^f,05}$, soit de $12.092^f,53$; il y a une perte d'autre part d'une somme de $7.515^f,68$ égale au total des dégrèvements et des secours; la perte totale éprouvée par l'État aurait donc été, pour cinq inondations, de $12.092^f,53 + 7515^f,68 = 19.608^f,21$ et pour une, en moyenne, de $\frac{19.608^f,21}{5} = 3.921^f,64$. Ce serait trop de compter sur une période de trois ou quatre années pour le retour d'une inondation ayant cette conséquence; nous croyons qu'on sera plus près de la vérité en fixant cette période à sept années; la perte pour l'État peut donc être représentée par un capital susceptible de produire, tous les sept ans, un revenu de $3.921^f,64$, soit

de $\frac{3.921^f,64}{(1^f,05)^7}\left(\frac{1}{1-\frac{1}{(1,05)^7}}\right) = 9.606^f,04$.

En résumé :

L'État pourra rentrer :

	francs.
Par application de la loi du 21 mars 1873, dans une somme de.	23.183,33
Du fait de l'augmentation de l'impôt sur les mutations, dans une somme de.	128.500,00
Il évitera, en n'ayant plus de dégrèvements d'impôts à supporter, ni secours à donner, une perte de. . .	9.606,04
Il aura donc gagné en totalité.	161.289,37

Le gain de l'État serait nécessairement au-dessus de ce chiffre parcequ'il y aurait à lui ajouter l'augmentation du revenu des impôts indirects non évalué; parce que le produit de l'impôt sur les mutations a été relevé de 1866 à 1874 et que jusqu'en 1870 il n'y a eu que 1 décime 1/2 supplémentaire, tandis qu'à partir de 1874 il y en a un de plus; parce qu'enfin les travaux exécutés depuis peu de

temps, et non terminés d'ailleurs, n'ont pas encore produit tout l'effet qu'on doit en attendre.

Si maintenant on envisage l'éventualité de la révision du cadastre, qui ferait profiter l'État de la plus-value de 672.000 francs acquise par les 1.120 hectares de terrains déjà cadastrés, et de la péréquation de l'impôt par suite de laquelle le département de Vaucluse payerait comme impôt foncier le dixième ou le douzième de son revenu au lieu du dix-huitième, on admettra que le profit de l'État dans les endiguements de Pertuis n'est guère au-dessous de son sacrifice, s'il ne le dépasse, et l'on reconnaîtra, dans tous les cas, que l'accomplissement du devoir, qui lui est imposé par le caractère de domanialité de la Durance, lui aura été assez léger.

Une question intéressante serait de savoir jusqu'à quel point les endiguements exécutés dans la commune de Pertuis ont relevé l'étiage; nous avons le regret de ne pouvoir formuler aucune opinion bien concluante à cet égard.

Les eaux ont été exceptionnellement basses en 1858 et en 1874, et l'on peut admettre que les eaux sont descendues dans ces deux années à l'étiage absolu. En 1858, les travaux d'endiguement étaient encore trop peu avancés pour avoir produit un effet appréciable; la comparaison entre ces deux étiages, constatés aux mêmes points, pourra donc donner la mesure de l'effet produit, elle ressort du tableau ci-après :

POINTS où les deux étiages ont été constatés.	ALTITUDES de l'étiage de 1858.	ALTITUDES de l'étiage du 13 février 1874.	RELÈVEMENT.	ABAISSEMENT.
Extrémité amont du Grand Fort de la Loubière.	203,388	205,69 à la branche mere.	2,307	
		205,07 contre la digue.	1,682	
Extrémité aval du Grand Fort de la Loubière.	203,395 (1)	203,375		0,020
T de la digue de l'Ebrette.	198,820	199,149	0,329	
Extrémité de la partie faite de la digue transversale de Saint-Roch.	191,102	190,969		0,133
Échelle hydrométrique du pont suspendu de Pertuis.	186,877	187,042	0.165	
T de la digue de Réparade. . . .	179,000	179,000	0,000	0,000
Extrémité amont du grand fort de Villelaure.	173,496	173,559	0,063	

(1) Cette altitude est bien certainement erronée puisque l'étiage serait plus élevé en aval qu'en amont.

Les relèvements l'emportent incontestablement sur les abaissements, mais il n'en est pas moins vrai qu'il y a eu abaissement, sur un point au moins, et que par conséquent on ne peut pas dire d'une manière absolue que les travaux d'endiguement exécutés à Pertuis ont eu pour effet de relever l'étiage. Dans les rivières à fond mobile comme la Durance, rien n'est plus variable, et par conséquent plus difficile à déterminer exactement que l'étiage. Suivant qu'un point du lit est occupé par la branche mère ou par une branche secondaire, les eaux peuvent varier en ce point, à des époques très-rapprochées, de plus d'un mètre. Les crues modifient le fond du lit, creusent là où le lit est resserré et exhaussent plus loin, où il s'élargit; les étiages constatés avant ou après une crue peuvent ainsi être bien différents sans que le régime général ait changé. Nous n'oserions donc pas répondre de la rigueur des résultats à déduire du tableau qui précède. Parmi les points considérés dans ce tableau, il n'y en a guère qu'un où l'on puisse considérer le lit comme à peu près fixe, c'est l'échelle hy-

drométrique du pont suspendu de Pertuis; mais le relèvement constaté en ce point doit plutôt être attribué à un barrage plein, sauf un pertuis de 30 mètres pour le passage des trains de bois, construit à 130 mètres en aval pour l'alimentation du canal de Marseille, qu'aux travaux d'endiguement.

Cette mobilité du lit a aussi des effets singuliers sur la hauteur des crues. A l'échelle du pont de Mirabeau, situé à 15 kilomètres en amont du pont de Pertuis, la crue de 1860 s'est élevée à $0^m,66$ au-dessus de celle du 20 octobre 1872, tandis qu'au pont de Pertuis la première a été plus basse que la seconde de $0^m,15$. Ainsi la crue de 1860 aurait été jugée au pont de Mirabeau plus forte que celle de 1872, tandis qu'on aurait jugé le contraire au pont de Pertuis. Cette anomalie ne peut s'expliquer que parce que la crue de 1872 est arrivée après plusieurs crues successives qui ont creusé le lit resserré entre les rochers du goulot de Mirabeau, tandis que la crue de 1860, arrivée soudainement, ne l'a pas trouvé dans le même état d'approfondissement. Au pont de Pertuis cet effet n'a pas pu se produire à cause du barrage, dont nous avons parlé plus haut, qui a retenu les graviers. Ainsi la crue de 1872, bien qu'inférieure en hauteur à celle de 1860 de $0^m,66$, au pont de Mirabeau, a été en réalité plus forte que cette dernière. Qu'on vienne à construire une digue en face de celle de la Loubière sur la rive gauche, et il ne serait pas impossible, qu'après une crue, l'étiage, qui actuellement est, en ce point, plus haut que celui de 1858, ne revînt à peu près au même niveau. C'est pour cela qu'il est bien difficile de se prononcer d'une manière catégorique dans la question du relèvement de l'étiage par les travaux d'endiguement dans les rivières à fond mobile.

Comme application des principes généraux que nous avons exposés dans le cours de cette étude, au sujet de la construction des digues transversales nous donnons les

dessins du projet de la digue de Croze, actuellement en cours d'exécution dans la commune de Pertuis (Pl. 11, *fig.* 5, nos 1, 2. 3, 4, 7, 8 et 9).

Les opérations sur le terrain, ayant servi de base à la rédaction de ce projet, ont été faites en juillet 1872, c'est-à-dire avant la dernière grande crue du 26 octobre suivant. La branche mère passait alors dans l'emplacement même du T, tandis qu'aujourd'hui, ainsi qu'on le voit sur le plan général, elle passe bien en arrière dans les terres. On espérait, à l'aide d'un barrage sur la branche mère, au point de division des deux branches, remettre cette première dans son ancienne position et pouvoir faire en terrassement la digue transversale jusqu'à l'ancienne berge droite de la branche mère, où aurait été établi le mur en croix, ce qui n'aurait donné à la partie en enrochement de cette digue transversale qu'une longueur de 16 mètres. Tout ce qu' n a pu faire a été de repousser la berge droite de la branche mère à 180 mètres de la ligne d'endiguement, où l'on a construit le mur en croix. Faire toute cette longueur de 180 mètres de digue transversale en enrochements serait trop dispendieux; on n'en construira sans doute qu'une vingtaine de mètres, puis on attendra pour pousser les travaux jusqu'à la ligne d'endiguement le déplacement de la branche mère vers la rive gauche, qui arrivera tôt ou tard, après une crue un peu forte. Dans la partie du lit abandonnée par les eaux, on prolongera la digue transversale en terrassement jusqu'à la berge droite de la branche mère, où l'on fera un second mur en croix, puis on terminera la digue en enrochements, y compris le T. C'est ainsi qu'on a procédé pour la digue de Saint-Roch, dont les travaux ont été suspendus en 1859, et qu'on achève dans ce moment. Le plus près de la ligne d'endiguement qu'on ait pu établir le mur en croix a été de 80 mètres; comme on ne voulait pas faire toute cette longueur en enrochement, on a fortement défendu ce mur en croix par des blocs, et l'on s'est

borné à faire un élément de digue transversale en enrochement. Aujourd'hui le déplacement de la branche mère vers la rive gauche a permis de prolonger la digue transversale en terrassement sur une cinquantaine de mètres; un second mur en croix a été construit à l'extrémité de ce prolongement, et l'on continue les travaux en enrochements.

Nous avons pensé qu'il n'était pas inutile de donner ces détails pour montrer combien il y avait d'imprévu dans les travaux d'endiguement sur les rivières à fond mobile comme la Durance. Il est bien rare qu'au moment de l'exécution, les lieux soient dans le même état que lorsqu'on a dressé le projet.

Avignon, le 1er octobre 1875.

N° 25

NOTE

SUR

QUELQUES TRAVAUX RÉCENTS RELATIFS A LA THÉORIE DES VOUTES

Par M. Ed. COLLIGNON, ingénieur des ponts et chaussées.

On sait que le problème de la stabilité des voûtes se résout aujourd'hui par la méthode graphique de la courbe des pressions; on sait aussi que cette courbe n'est pas complétement définie par les données immédiates du projet à étudier : son tracé dépend de certaines données accessoires, que l'on choisit *à priori*, et qui impriment à la solution un caractère arbitraire. Pour affranchir la méthode de ce tribut payé à l'hypothèse, il faudrait tenir compte des déformations de la voûte sous l'action des forces qui y sont appliquées, et des tassements des surfaces sur lesquelles elle s'appuie. Mais ce nouveau problème, analogue à celui qu'on sait résoudre pour les arcs métalliques, présente pour les voûtes des difficultés spéciales, qui jusqu'à présent ont rebuté les efforts de l'analyse.

Des théories récentes, déplaçant franchement la question, « cherchent à tourner la difficulté plutôt qu'à la résoudre (*) ». L'une est celle de M. Alfred Durand-Claye,

(*) C'est en ces termes que nous annoncions, en 1869, la méthode de M. Alfred Durand-Claye dans notre *Cours de résistance des matériaux*, page 413.

ingénieur des ponts et chaussées; elle est exposée dans les *Annales*, année 1867, n° 142. La seconde a paru en 1875, dans le *Mémorial de l'officier du génie*, n° 24. Elle est due à M. le colonel Peaucellier. Ces deux méthodes ont, en principe, une grande analogie; elles ont toutefois des différences qu'il n'est pas inutile de faire ressortir. Tel est l'objet de la présente note.

Au lieu d'essayer de deviner, d'après des hypothèses plus ou moins plausibles, la courbe de pressions qui se réalisera dans une voûte donnée, supposée en équilibre, MM. Durand-Claye et Peaucellier cherchent à limiter les solutions qui satisfont aux diverses conditions de stabilité, et à traduire aux yeux, par des constructions graphiques, les résultats de cette recherche. A cet effet, tous deux construisent un contour, dont chaque point intérieur définit une position et une grandeur possibles de la poussée à la clef, c'est-à-dire une courbe de pressions satisfaisant aux conditions de l'équilibre. Plus ce contour est étroit plus les conditions de l'équilibre sont strictes. Se réduit-il à un point, l'équilibre n'est possible que d'une seule manière. Parfois enfin le contour disparaît, le bord qui correspond aux poussées maxima restant au-dessous du bord qui correspond aux poussées minima : alors il n'y a pas de poussée qui donne une courbe de pression satisfaisante, et l'équilibre de la voûte ne peut exister dans les conditions prévues. L'aire plus ou moins grande du contour-limite mesure pour ainsi dire la probabilité de l'équilibre; si cette probabilité est nulle, on doit regarder comme certaine la ruine de l'ouvrage.

Le principe commun aux deux méthodes appartient sans contredit à M. Alfred Durand-Claye, dont les publications ont aujourd'hui plus de huit années de date. Nous ne croyons pas cependant que la méthode de M. Peaucellier dérive de cette source. Il y a eu, suivant nous, rencontre accidentelle des deux auteurs sur un terrain commun. Le

caractère individuel de la méthode la plus récente écarte l'idée d'un emprunt quelconque fait à la méthode la plus ancienne. L'éminent géomètre auquel nous devons le *réciprocateur* et tant d'autres appareils ingénieux n'a rien emprunté qu'à lui-même.

Pour insister sur les points qui distinguent les deux méthodes, rappelons que les conditions de la stabilité des voûtes sont au nombre de trois, savoir :

1° La courbe des pressions doit être comprise tout entière dans le bandeau de la voûte;

2° Les réactions mutuelles doivent faire avec la normale au joint des angles au plus égaux à l'angle du frottement de pierre sur pierre;

3° La pression locale développée au point le plus chargé ne doit pas excéder la résistance pratique des matériaux.

Parmi ces trois conditions. M. Durand-Claye a eu spécialement en vue la première et la troisième, tandis que M. Peaucellier s'est occupé plus particulièrement de la première et de la seconde. Les raisons ne manquent pas pour justifier l'une ou l'autre de ces exclusions. M. Durand-Claye a pu regarder la condition relative aux angles comme satisfaite d'elle-même dans une voûte appareillée d'après les règles consacrées par l'usage. De son côté, M. Peaucellier s'est attaché de préférence à vérifier les deux premières conditions qui résument les lois *statiques* de l'équilibre, et c'est seulement à titre de correction qu'il tient compte ensuite de la résistance limitée de la matière, question d'un autre ordre. et qu'on ne sait traiter jusqu'ici qu'à l'aide d'une hypothèse. De là les différences des deux méthodes, résultat nécessaire de la diversité des points de vue adoptés par les auteurs.

Relativement à la première condition, M. Peaucellier et M. Alfred Durand-Claye expriment tous deux que le centre

de pression est pour chaque voussoir situé dans l'étendue du joint. Mais le premier limite en outre les poussées à la clef par la condition d'amener les réactions mutuelles correspondantes à toucher soit l'intrados, soit l'extrados, condition dont on ne trouve pas l'analogue dans l'autre méthode.

La seconde condition était regardée par M. Durand-Claye comme toujours remplie. Dans notre cours de résistance, nous avons montré comment on pouvait, d'après les mêmes principes, la traduire graphiquement sur l'épure; à vrai dire, les droites qu'on est ainsi conduit à tracer n'entament pas, en général, le contour-limite construit d'après les autres conditions. M. Peaucellier retrouve ces droites, et les fait concourir avec les courbes déjà tracées à la description du contour cherché.

La troisième condition s'exprime par un contour formé de droites et d'arcs d'hyperbole dans la méthode de M. Durand-Claye, qui adopte l'hypothèse universellement suivie sur la répartition des efforts dans l'étendue d'une assise rectangulaire. Nous trouvons dans les constructions de M. Peaucellier l'amorce du contour tracé par M. Durand-Claye, mais seulement à la clef de la voûte; pour les autres joints, M. Peaucellier y pourvoit par une altération des courbes des poussées-limites : altération approximative, qui a pour but d'éloigner de l'intrados ou de l'extrados, et de faire rentrer dans l'épaisseur du bandeau, les réactions qu'on avait d'abord fait passer par les extrémités du joint. Au point de vue pratique, cette recherche peut évidemment suffire, et le contour-limite définitif, celui qui permet de prononcer sur la stabilité de la voûte, ne doit pas notablement différer d'une méthode à l'autre. Les constructeurs restent ainsi libres de choisir entre les deux, et d'adopter celle qui leur paraît la plus simple et la plus rapide.

L'étude géométrique de la solution est très-complète dans le mémoire de M. Peaucellier; l'emploi du polygone

funiculaire, la détermination graphique des limites de poussée qui correspondent au glissement de la voûte sur un joint dans un sens ou dans l'autre, la construction d'une courbe auxiliaire dont la sous-normale définit la poussée amenant la réaction mutuelle à toucher l'intrados ou l'extrados, le procédé suivi pour déplacer la réaction mutuelle et la faire rentrer à distance convenable dans l'intérieur du bandeau, constituent autant d'applications élégantes des principes de la géométrie et de la statique. Grâce à ces recherches théoriques, les courbes de M. Peaucellier peuvent se construire avec une grande facilité.

La solution de M. Durand-Claye, précisément parce qu'elle introduit *in extenso* la condition relative au maximum de la pression locale, ne se prête pas aussi facilement aux simplifications. Elle exige un certain nombre d'essais successifs, dont chacun peut conduire à retoucher les résultats déjà obtenus. Par contre, elle donne des indications plus nombreuses et plus précises que l'autre méthode, et elle est susceptible d'applications plus variées. M. Durand-Claye s'en est servi pour définir avec exactitude le *coefficient de stabilité* d'un ouvrage. Il a fait voir aussi (*Annales des ponts et chaussées*, 1868), que sa méthode convenablement modifiée s'applique aux arcs métalliques et aux maçonneries capables de résister à des efforts d'extension, aussi bien qu'aux voûtes formées de voussoirs simplement juxtaposés. La méthode de M. Peaucellier s'applique exclusivement aux voûtes, et elle serait impuissante pour résoudre d'autres problèmes. Ajoutons, pour compléter ce parallèle entre les deux méthodes, que toutes deux ont un point de départ commun : elles supposent horizontale la poussée à la clef, ou, ce qui revient au même, elles supposent la voûte symétrique par rapport à son plan moyen. Il serait intéressant de rechercher comment elles devraient être modifiées s'il s'agissait d'une voûte où cette condition de symétrie ne serait pas satis-

faite (*). C'est un sujet digne, croyons-nous, de fixer l'attention des habiles ingénieurs dont nous venons de comparer les travaux.

Paris, 10 février 1876.

(*) On trouvera une étude intéressante sur ce sujet dans un mémoire de M. le professeur Cesare Ceradini sur l'équilibre des voûtes (*Giornale di Scienze naturali ed economiche*, vol. IX, 1873, Palermo). L'auteur applique au problème des voûtes non symétriques le principe de la méthode de M. A. Durand-Claye.

CHRONIQUE.

Mai 1876.

N° 26

Double décimètre de M. Castelnau. — M. Castelnau, professeur de mathématiques, a récemment introduit quelques perfectionnements dans le *double décimètre* dont il est l'inventeur; il a notamment subdivisé en demi-millimètres l'un des côtés de l'échelle. On sait que ce petit instrument avait été, le 28 octobre 1873, l'objet d'un rapport très-favorable de la *Commission des inventions*, rapport qui fut communiqué aux ingénieurs des ponts et chaussées par une circulaire ministérielle du 15 janvier suivant.

Hydraulique des grands fleuves, le Parana, l'Uruguay et le bassin de la Plata. — M. le général Morin a présenté récemment à l'Académie des sciences (17 janvier 1876) un rapport sur un ouvrage d'un ingénieur anglais, M. Revy, relatif à l'hydraulique des grands fleuves. M. Revy a pu opérer sur une grande échelle, grâce aux moyens que la république Argentine avait mis à sa disposition. Les sondages destinés à donner les profils en travers se faisaient à l'aide d'un bateau à vapeur, et les dispositions prises par l'auteur étaient telles qu'il assure que l'on peut en deux heures relever le profil d'une section des plus grands fleuves. Les vitesses étaient mesurées à l'aide d'un moulinet de Woltmann, et toutes les précautions étaient prises pour éviter les causes d'erreur. Enfin, d'après le rapporteur, M. Revy a donné le modèle d'une excellente organisation du matériel, du personnel et de l'ensemble des dispositions qu'il convient d'adopter.

Le temps a manqué à M. Revy pour compléter les études qu'il a commencées. Il semble cependant résulter de ses études une loi

qui serait assez importante : Dans les grands fleuves, lorsque la pente du lit est sensiblement la même sur toute leur longueur, sur une certaine étendue la vitesse, à une faible distance de la superficie, est dans un rapport à peu près constant avec la profondeur de l'eau. Cette conséquence, qui n'est contradictoire en rien avec les faits connus, n'avait jusqu'ici encore été établie par aucune observation faite dans des conditions aussi larges.

Chemins de fer. — Statistique. — Suisse. — Les chiffres suivants sont donnés par le *Journal de Genève*.

Le réseau des chemins de fer suisses, qui était de 1.604 kilomètres en 1874, en compte 2.011 à la fin de 1875, soit une augmentation de 407 kilomètres.

Les recettes de tout le réseau, qui avaient été de 47.065 458 fr. en 1874, se sont élevées à 51.188.857 en 1875, soit en moyenne 19 francs par habitant. Les recettes, rapportées au kilomètre, étaient de 31,227 francs en 1874, tandis qu'elles n'ont été que de 28.832 en 1875, soit une diminution de 7 p. 100 : les nouvelles lignes ouvertes sont en partie dépourvues d'une circulation suffisante.

Allemagne. — Le *Journal officiel* donne les chiffres suivants extraits d'une publication du bureau des chemins de fer de l'Empire :

La longueur des chemins privés régis par des administrations privées est de 11.860 kilomètres, avec un capital de premier établissement de 3.172 millions de francs.

Le réseau des chemins de fer privés administrés par l'État (c'est-à-dire les chemins de fer construits avec subvention de l'État et jouissant d'une garantie d'intérêt) présente une longueur de 2.904 kilomètres, avec un capital de 1.120 millions de francs.

La longueur des chemins de fer de l'État est de 11.200 kilomètres avec un capital de 3.255 millions.

Enfin celle des chemins de fer de l'Empire, en Alsace-Lorraine, est de 1.040 kilomètres, correspondant à un capital de 240 millions.

La longueur totale des lignes en exploitation est donc actuellement de 27.000 kilomètres environ, avec un capital de 7.785 millions de francs.

Angleterre. — Le *Journal des travaux publics* donne, d'après le *Board of Trade*, un relevé des dommages-intérêts auxquels les compagnies de chemins de fer du Royaume-Uni ont été condamnées envers des particuliers, à la suite d'accidents survenus de juillet 1874 à juillet 1875.

Le total s'élève à 8 millions de francs pour blessures et contusions et à 6.500.000 francs pour pertes et avaries de marchandises en transit. Ces deux chiffres réunis atteignent presque la moitié de la moyenne des dividendes que servent ces compagnies. La somme la plus forte a été payée par le London and North western Railway : elle s'élève à 3.801.700 francs. Le Great-Eastern à dû payer 1 million de francs pour blessures et 200.000 fr. pour avaries. Les deux chemins de fer souterrains de Londres ont dû payer 250.000 francs pour blessures, bien que leur responsabilité soit limitée, en vertu de leurs statuts à 2.500 francs pour les voyageurs de 3e classe.

Une seule ligne, celle de Mary-Port à Carlisle, qui dessert un bassin houiller, n'a subi aucune condamnation.

Locomotive à air comprimé. — La traction des wagons chargés des déblais provenant de l'avancement de la galerie se fait maintenant, au tunnel du Saint-Gothard, à l'aide de locomotives à air comprimé sur lesquelles le *Bulletin de la Société d'encouragement* fournit quelques détails que nous résumons (janvier 1876).

Les premiers essais furent faits à l'aide de locomotives dans les chaudières desquelles on comprimait de l'air ; mais la pression s'abaissait trop rapidement à cause de la capacité peu considérable de ces chaudières : on fut conduit à leur adjoindre des réservoirs cylindriques en tôle portés sur des trucks et ayant un diamètre de 1m,50 et une longueur de 8 mètres environ. Quelque incommodes que fussent ces tenders d'une nouvelle espèce, les deux locomotives, *la Reuss* et *le Tessin*, fonctionnèrent convenablement chacune à l'un des chantiers d'Airolo et de Gœschenen. Comme la pression diminue d'une manière continue dans ces réservoirs, il faudrait pouvoir faire varier continument aussi la détente, ce que ne permet pas la disposition du mécanisme des locomotives ; à certains instants, donc, l'air arrivait dans le corps de pompe avec une trop forte pression, une partie était ainsi perdue inutilement : d'autre part, l'air arrivait dans le tiroir avec toute sa pression, et les fuites, qui augmentent avec la pression, étaient assez considérables. Ces diverses raisons principalement firent décider l'emploi de locomotives spéciales dans lesquelles ces inconvénients sont évités par l'emploi d'un régulateur de l'écoulement de l'air, imaginé par M. Ribourt. Ce régulateur, placé entre le réservoir d'air comprimé et le corps de pompe, agit automatiquement, et l'air qui l'a traversé est constamment à la pression qui a été déterminée et que l'on peut d'ailleurs faire varier en agis-

sant sur un ressort que l'on bande plus ou moins. Ce régulateur, maintenant que l'emploi de l'air comprimé se généralise, pourra recevoir d'autres applications, d'autant plus qu'il est d'une construction simple et qu'il ne présente pas de parties délicates.

La locomotive est chargée d'air comprimé au fond de la galerie où arrivent les conduits qui alimentent les perforatrices : la pression est en moyenne de $7^{kg},35$ par centimètre carré : le réservoir a une capacité de $7^{mc},500$; l'air arrive dans les corps de pompe à la pression de $4^{kg},20$; la quantité d'air emmagasiné est suffisante pour faire un double trajet en traînant un train chargé à l'aller et vide au retour.

Action de la chaleur sur les ponts métalliques. — Les variations de température auxquelles sont soumises les pièces métalliques amènent des déformations dont il importe de tenir compte, mais qui peuvent n'être pas aussi considérables que les formules le feraient prévoir.

Le *Scientific American* donne à cet égard les renseignements suivants : le pont de Saint-Louis, dont les arcs ont une portée de 150 mètres environ, devait, d'après les prévisions du calcul, subir une déformation qui aurait fait varier la hauteur du sommet de l'arc de $0^m,45$ environ entre les jours les plus chauds et les jours les plus froids, la différence de température étant évaluée à 77° centigrades. Depuis que le pont est terminé, on a noté chaque jour la position exacte du sommet de l'arc; la différence extrême de température, entre le jour le plus chaud (20 juillet 1875) et le jour le plus froid (9 janvier 1875), a été de 59° environ : dans ces limites, le déplacement observé n'a été que de $0^m,21$, notablement inférieur par conséquent à ce que l'on eût pu prévoir (le calcul dans ces conditions indiquait $0^m,355$).

La différence provient, sans doute, en partie au moins, de ce que le métal est protégé par le tablier du pont : le fait que le métal est peint en blanc doit être également pris en considération. Mais il est possible aussi que, par suite du poids considérable de l'arc et de la charge qu'il supporte, la dilatation soit modifiée; autrement dit, il est possible que le coefficient de dilatation soit influencé par cette charge, qu'il soit moindre que si le métal n'était pas chargé. M. Bresse, dans son *Cours de mécanique appliquée*, signale des différences analogues auxquelles il pense que cette explication pourrait s'étendre. Un autre fait du même genre a été indiqué pour le pont suspendu du Niagara. Au contraire, pour le pont Victoria, à Montréal, la dilatation a été trouvée égale à ce

qu'avait prévu la théorie; mais, dans ce cas, il s'agissait d'une poutre droite, et la charge ne s'opposait pas directement à la dilatation, qui se produisait librement dans le sens de la longueur.

C. M. G.

BIBLIOGRAPHIE.

OUVRAGES FRANÇAIS.

Garnier (Léon) et Dauvert (Paul). — Jurisprudence des conseils de préfecture : recueil périodique publié sous les auspices du Conseil de préfecture de la Seine et paraissant tous les mois depuis le 1er janvier 1876. — Marchal, Billard et Cie, éd., Paris, place Dauphine, 27.

[G]audard. — Influence des dénivellations d'appuis dans les poutres à plusieurs travées solidaires, par M. J. Gaudard, ingénieur civil, professeur à l'Académie de Lausanne. — Paris, E. Lacroix, lib. (Extrait des *Annales du génie civil.*)

[Le]nthéric. — Les Villes mortes du golfe de Lyon; par M. Ch. Lenthéric, ingénieur des ponts et chaussées. — Paris, E. Plon et Cie, éd., 1876.

[M]angon. — Traité de génie rural : travaux, instruments et machines agricoles, par M. Hervé Mangon, membre de l'Institut, etc. — Paris, Dunod, éd., 1876.

[Ri]chard. — Législation des chemins de fer d'intérêt local, par M. Albert Richard, avocat. — Paris, Dunod, éd., 1875.

[Vi]alar (de). — Mémoire sur les Expropriations départementales, par M. A. de Vialar, ingénieur des ponts et chaussées. — Paris, Dunod, éd., 1876.

OUVRAGE SUISSE.

[Bu]lletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes, paraissant 4 fois par an. — Lausanne, Georges Bridel, éditeur.

OUVRAGES ANGLAIS.

[Da]wson (J. E. and A.). — Tramways; the construction and working. — London, King.

[Construction et exploitation des tramways.]

[Ho]ffert. A. — Guide to the Sewage Question for 1876, treated

from a Sanitary, Economical and Agricultural point de vue. — London, P. S. King.
[La question des eaux d'égout, etc.]

Parliamentary Papers.—S. King, *Canadian Building, King Street Westminster;* London. — Publications faites par ordre du Parlement.

— Channel-Tunnel. Correspondence, Reports, etc. Maps.
[Tunnel de la Manche, avec cartes.]

— Light houses (Mineral Oil used in). Return.
[Éclairage des phares à l'huile minérale. Compte rendu.]

— Railways. Accidents. Inspectors' Report. Part V and VI, 1875.
[Rapport des Inspecteurs du Board of Trade sur les accidents de chemins de fer.]

— Railways. Accidents July to September 1875. Return.
[État des accidents de chemin de fer, de juillet à septembre 1875.]

— Railways. Share and Loan Capital. Traffic, etc., for 1874. Tyler's general Report.
[Rapport général de M. Tyler sur la situation financière, le trafic, etc. des chemins de fer.]

— Rivers pollution, 6 th. Report of commissioners. Domestic Waters Suppy. Maps. — I. Chemical examination of potable waters. — II. Classification and chemical composition of the potable waters of G. B. : — 1. Rain water. — 2. Upland surface waters. — 3. Surface waters from cultivated land. — 4. Shallow well waters. — 5. Deep well waters. — 6. Spring waters. — III. Special consideration. — IV. Description, Maps and Index.
[6e rapport de la Commission de l'assainissement des rivières. — Distribution des eaux domestiques, avec cartes. — I. Examen chimique des eaux potables. — II. Classification : eaux de pluie, de sources, de puits plus ou moins profonds, etc. — III. Considérations particulières. — IV. Cartes et tables.]

OUVRAGES ALLEMANDS.

FRAUENHOLZ. W. — Bau; Constructions-Lehre für Ingenieure. Als Leitfaden zu seinen Vorträgen bearbeitet. — I. Bd. Stein constructionen. München, 1875. — Th. Ackerman.
[La science de la construction pour les ingénieurs. 1 vol. — Constructions en pierres, avec figures.]

HAUSHOFER M., Rdf. Paulus. und R. SCHMIDT. — Handbuch des Eisenbahnwesens in ökonomisher, rechtlicher, administrativer

und technischer Beziehung. — 7-14, Hft. Stuttgard, 1875. [Traité des chemins de fer, etc. Fascicules 7 à 14.]

HEINZERLING. — Die Brücken den Gegenwart Systematisch geordnete Sammlung der gelaüfigsten neueren Brücken constructionen. II. Abth. Steinerne Brücke. Wit 6, Taf und 38 Holzschn- Aachen, 1875.

[Les ponts modernes. IIe partie : Ponts en pierre, avec 6 pl. et 38 figures dans le texte].

MITTHEILUNGEN über gegenstände des Artillerie und Genie Wesens. - Heraus gegeben vom K. K, technischen und administrativen Militär-Comite. — Jahrgang 1876. — 2e Heft mit 2 Tafeln und 25 fig. in texte. Wien R. V. Waldheim.

[Mémorial de l'artillerie et du génie, publié par un comité militaire. Année 1876. — 2e fascicule, avec 2 pl. et 25 fig. — Vienne, R. V. Waldheim.

Ce fascicule, consacré surtout à des articles d'art militaire, contient en outre un mémoire sur l'étude des nouvelles substances explosives, une note sur un perforateur, et des indications bibliographiques.]

OUVRAGE ITALIEN.

FAVARO (Prof. Antonio) : Notizie sulla scuola d'applicazione per gl'ingegneri annessa all R. Università di Padova. — Padova.

[Sur l'école d'application pour les ingénieurs annexée à l'Unisité de Padoue.]

OUVRAGE RUSSE.

AUGUSTINSWITCH. — Établissement des ports sur les rives sablonneuses des mers méditerrannées.

[M. Augustinswitch, ingénieur des voies de communication à Saint-Pétersbourg, a publié dans le *Journal de l'Institut des voies de communication* un mémoire concernant l'établissement des ports sur les rives sablonneuses des mers méditerranées. Comme œuvre critique, ce mémoire offre un intérêt spécial : il met en évidence, par des exemples plus encore que par des raisonnements, l'insuffisance fréquente des jetées construites et vainement prolongées pour prévenir l'ensablement des ports. L'auteur préconise un autre système, celui d'un brise-lames établi parallèlement à la côte : solution dispendieuse, dont une expérience prolongée peut seule permettre d'apprécier la valeur pratique.]

C. M. G.

N° 27

RAPPORT (*) A M. LE PRÉFET DE LA SEINE

SUR

LES TRAVAUX DE LA COMMISSION CHARGÉE D'EXAMINER LES QUESTIONS QUI SE RATTACHENT A L'ASSAINISSEMENT DES HALLES CENTRALES.

Paris, le 1er mai 1875.

Monsieur le Préfet,

Origine et composition de la Commission. — Vous avez décidé, dans le courant du mois de juillet dernier, la formation d'une Commission chargée d'examiner les questions qui se rattachent à l'assainissement des Halles centrales, et d'indiquer les moyens les plus efficaces pour obtenir cet assainissement.

La Commission était ainsi composée à l'origine :

MM. LALANNE, inspecteur général des Ponts et Chaussées, *président*.
POGGIALE, docteur-médecin, membre de la Commission des logements insalubres;
VÉE, ingénieur civil, membre de la même Commission;
ROUSSELLE, VAISSIÈRE, ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées, attachés au service municipal;
MAGNE, inspecteur général des travaux d'architecture;
RADIGON, architecte du 1er arrondissement;
BIOLLAY, inspecteur général des perceptions municipales;
WORMS, docteur-médecin de la Préfecture de la Seine;
DE BETHUNE, sous-chef du 1er bureau des travaux d'architecture à la Préfecture de la Seine, *secrétaire*.

(*) Ce rapport et les documents à la suite sont extraits d'une publication récente faite par la Préfecture de la Seine (Direction des travaux de Paris), sous le titre : ASSAINISSEMENT DES HALLES CENTRALES. *Résumé des travaux de la commission chargée d'examiner les questions qui se rattachent à cet assainissement*. Paris, imprimerie nationale, 1875. Grand in-4° de 16 feuilles.

Plus tard, et sur la demande de la Commission elle-même, vous avez bien voulu vous concerter avec M. le Préfet de police pour l'adjonction de nouveaux membres présentés par M. votre collègue, et qui sont :

MM. Bouchardat, membre du conseil de salubrité;
Paliard, architecte contrôleur des services de la préfecture de police;
Mathieu, chef du 1er bureau de la 2e division de cette préfecture.

L'absence de plusieurs membres n'avait pas permis à la Commission de se réunir avant le commencement de novembre dernier. A partir de cette époque, elle a poursuivi régulièrement l'étude des questions qui lui étaient soumises.

Ses travaux sont terminés aujourd'hui ; les résultats en sont consignés dans les procès-verbaux des onze séances générales qu'elle a tenues, et surtout dans les pièces annexes des séances, pièces qui sont, pour la plupart, des rapports élaborés au sein des commissions partielles entre lesquelles s'est partagée successivement la Commission entière.

Ma tâche doit donc se borner à résumer l'ensemble de ces travaux et à mettre en relief les points principaux sur lesquels ils ont porté.

Point de départ et programme sommaire des travaux de la Commission. — Le rapport de M. le Directeur des travaux de Paris, en date du 19 juin 1874, rapport dont la Commission a pris connaissance dès sa première réunion, lui a fait connaître la mission spéciale dont elle était chargée et les antécédents qui ont donné naissance à cette mission.

L'insalubrité de certaines parties des Halles, dit M. Alphand, et notamment des sous-sols des pavillons affectés à la vente des volailles, à l'emmagasinement des fromages et du beurre, a déjà été signalée à plusieurs reprises. Les

cheminées d'aérage, établies en 1868 aux quatre angles de chacun des pavillons, ont été l'objet de nombreuses modifications, ayant pour but d'amener une évacuation plus complète de l'air infecté, sans que l'on soit parvenu, jusqu'à présent, à obtenir des résultats satisfaisants. Cependant les plaintes nombreuses que cet état de choses soulevait avant la guerre se sont renouvelées depuis lors, et la Préfecture de police, la Commission des logements insalubres, des membres du conseil municipal, se sont accordés à réclamer une ventilation meilleure et des moyens d'assainissement. Des propositions en assez grand nombre avaient été faites dans ce but à la Direction des travaux de Paris, soit par des inventeurs, soit par des maisons industrielles qui s'occupent spécialement de ce genre de travaux. La Commission a été instituée d'abord pour examiner les différents systèmes proposés ; ensuite pour étudier les questions complexes qui se rattachent à l'assainissement des Halles. et pour déterminer la manière la plus efficace d'obtenir cet assainissement. La Commission devait d'ailleurs se préoccuper des moyens à employer, non-seulement au point de vue pratique, mais encore en ayant égard à la dépense qu'ils peuvent comporter.

Telle est la substance de ce rapport, qui établissait nettement la nature et l'étendue de la mission qui nous était confiée.

Description générale des Halles centrales. — Suivant la résolution qu'elle avait prise dès sa première séance, la Commission entière a procédé deux fois à la visite des Halles ; elle s'est arrêtée surtout dans les pavillons où des causes particulières d'infection avaient été signalées. En outre, presque tous les membres, opérant individuellement, se sont rendu compte par eux-mêmes, à différentes heures et à plusieurs reprises, de l'état réel des choses, tout en faisant la part de l'atténuation que la saison d'hiver ap-

porte naturellement à des inconvénients que les grandes chaleurs peuvent rendre insupportables.

Les Halles centrales (*) occupent, dans le 1er arrondissement, à 425 mètres environ de la rive droite de la Seine, un vaste espace rectangulaire de 312 mètres de long sur 120 mètres de large. L'axe longitudinal du rectangle est orienté parallèlement à la ligne des quais la plus voisine, de l'ouest à l'est en inclinant d'environ 20 degrés vers le sud. Une ceinture de voies publiques (les rues Vauvilliers à l'ouest, Pierre-Lescot à l'est, de Rambuteau au nord, Berger au sud) isolent les Halles des constructions les plus voisines. La rue du Pont-Neuf, prolongée jusqu'à la place de la Pointe-Saint-Eustache, divise ce grand établissement public en deux massifs principaux d'inégale superficie, partagés eux-mêmes par une avenue longitudinale, qui suit l'axe du rectangle, et par trois avenues transversales, en dix pavillons de grandeurs différentes. Des numéros impairs commençant par le chiffre 3, à partir de l'ouest, et finissant à 11, vers l'est, désignent les cinq pavillons de la rangée du nord; les numéros pairs, de 4 à 12, sont pareillement affectés, de l'ouest à l'est, aux cinq pavillons de la rangée du sud. Les nos 1 et 2 avaient été réservés, dans le plan primitif, à deux pavillons projetés entre la rue Vauvilliers et la rue circulaire formant ceinture autour de l'édifice en tour ronde de la Halle au blé (rue de Viarmes) (**).

Sur les dix pavillons existants, les quatre plus grands

(*) Voir la belle publication intitulée : *Monographie des Halles centrales de Paris*, par M. Baltard, membre de l'Institut, et feu F. Callet, architectes; Morel et Cie, éditeurs, 1863. Le plan et la légende descriptive joints au présent rapport suffisent, à la rigueur, pour l'intelligence des dispositions générales que nous avons à décrire. (Pl. 12 du présent volume.)

(**) Ces deux pavillons n'ont pas été construits; la dépense considérable qu'exigeraient les expropriations sur l'emplacement qu'ils devaient occuper rend fort douteux l'achèvement du plan

portent les nos 3 et 9 au nord, 4 et 10 au sud; ils sont plus larges en façade, surmontés d'un comble plus élevé. La superficie de chacun d'eux est de 2 900 mètres; elle n'est que de 2 270 mètres pour chacun des six autres. Nulle part, d'ailleurs, la hauteur libre au-dessus du sol n'est inférieure à 10 mètres, et la hauteur moyenne est d'environ 15 mètres. L'air circule librement non-seulement tout autour de ces constructions rectangulaires de 52 mètres de long sur 52 mètres et 42 mètres de large, mais encore à l'intérieur, où il pénètre par les nombreuses ouvertures pratiquées dans les parois, pour s'échapper ensuite à travers les vides ménagés en dessous du comble. Les parties souterraines seules laissent à désirer sous le rapport de la ventilation. Les vastes caves qui occupent l'étendue entière des pavillons sont recouvertes par une suite de voûtes d'arêtes, de 4 mètres de hauteur au sommet et de 6 mètres d'ouverture, supportées par des colonnes en fonte également espacées, qui ont été calculées de manière à résister aux poids qui les chargent, tout en apportant aussi peu de gêne que possible à la circulation des personnes et à la manutention des denrées.

Sous la grande rue longitudinale qui traverse les Halles de l'ouest à l'est, et sous les trois rues transversales bordées de pavillons des deux côtés, le sol de la partie souterraine a été descendu de 1 mètre plus bas que sous les pavillons. Cette partie de l'étage souterrain, disposée en prévision de l'établissement de voies de raccordement destinées à relier les Halles centrales aux gares du nord de Paris, est séparée des autres caves et porte, dans le service, le nom de *chemin de fer*, malgré l'absence des voies primitivement prévues. De larges escaliers, à descente

primitif. Les numéros d'ordre actuellement attribués aux pavillons ont donc le double inconvénient de présenter une lacune et d'être en désaccord complet avec le système adopté pour le numérotage des propriétés attenant aux voies publiques de la ville.

douce, établissent la communication entre le rez-de-chaussée et le sous-sol de chacun des pavillons.

Le rez-de-chaussée de tous les pavillons où la vente se fait au détail est partagé en boutiques au devant desquelles ont été ménagées des allées de 2 mètres de largeur. La moindre superficie d'un étalage est de 1 mètre sur 2. Pour la vente en détail de la boucherie, les boutiques ont 3 mètres sur 3 ; la plupart des autres boutiques ont 2 mètres sur 2 mètres. « Un marché ne doit pas être autre chose, « d'après nos usages, qu'un parallélogramme rectangle « divisible par compartiments de 2 mètres ; il faut 2 mètres « sur 2 mètres pour les boutiques ; il faut 2 mètres pour « les passages.... C'est cette considération qui a conduit à « l'espacement de 6 mètres, multiple de 2 mètres, entre « les colonnes ou points d'appui des Halles, de manière à « former deux rangs de boutiques et un passage intermé- « diaire. Mais, en outre, une halle ou un marché doit être « considéré comme un vaste parapluie. Le problème est « donc de couvrir le plus grand espace possible avec des « supports aussi légers et aussi peu nombreux que pos- « sible. »

Mais la question se complique de considérations essentielles relativement à l'introduction de la lumière et de l'air sous de vastes abris.

« L'air doit entrer par le pourtour et sortir par le mi- « lieu. Le jour doit pénétrer par des baies verticales à « l'exclusion des châssis rampants sur les toits ; autrement « le soleil, dardant sur ces châssis de combles, échauffe- « rait rapidement l'air intérieur et transformerait les abris « en serres chaudes.

. . . .

« Afin de ne point gêner, par des courants d'air, les « marchandes qui stationnent ou les chalands qui circulent « dans les pavillons des Halles, ce n'est qu'au-dessus du « mur de brique de 2^{m},60 de hauteur, qui forme l'enceinte

« générale des pavillons, entre les colonnes du pourtour, « que commence le système de ventilation.

« L'air et la lumière entrent de tous côtés par des baies « ouvertes autour de l'édifice. Seulement, pour rendre le « courant moins rapide et ne pas permettre à la lumière « de jouer avec trop d'intensité dans l'intérieur, ces baies « ont été à demi fermées par des lames de persiennes en « cristal dépoli, posées dans de petits coulisseaux en fonte; « et, afin d'éviter les ruptures, effets possibles de la dila- « tation ou d'une vibration quelconque, ces lames sont « maintenues dans des rainures par de petites lamelles en « caoutchouc. Ce genre de persiennes a le double avantage « d'adoucir les rayons solaires et de ne point intercepter « la lumière.

« Une vaste lanterne à un seul étage d'arcades au-dessus « des pavillons les plus petits, à deux étages au-dessus des « plus grands, sert d'issue à l'air tamisé entre les lames « des persiennes inférieures (*).

« Les aménagements propres à chaque nature de com- « merce ont été l'objet de soins tout particuliers.

« Les boutiques des bouchers, en raison du volume de « la marchandise et de la manutention qu'elle nécessite, « sont, par exception, plus grandes que toutes les autres; « elles ont 3 mètres sur 3 mètres; elles sont garnies de « billots, d'étaux, de tables-comptoirs et de balances.

. . . .

« Les boutiques des marchandes de légumes sont en- « tourées seulement d'une cloison en bois enchâssée dans « des bâtis en fer avec adossements à claires-voies et ta- « blettes, afin de laisser aux marchandes la faculté de faire « leurs étalages suivant les produits des diverses saisons, « très-variés de forme, de pesanteur et d'aspect. A la halle

(*) Les guillemets indiquent des citations empruntées textuellement à la *Monographie des Halles centrales*.

« aux poissons, les dispositions ne sont plus les mêmes.
« Quarante-deux groupes de tables de marbre blanc sont
« disposés symétriquement et comprennent chacun quatre
« places. Chacune de ces tables, posée en pente pour
« l'exposition du poisson et l'écoulement des eaux, est
« munie d'un robinet versant l'eau à volonté et permettant
« de tenir l'étalage dans un état constant de fraîcheur et
« de propreté. Chaque place de vente pour le poisson
« d'eau douce est pourvue, en outre, de bassins alimentés
« d'eau courante, où le poisson peut séjourner vivant jus-
« qu'au moment de la vente. Quelques places munies de
« tables en marbre gris, fortes et épaisses, sont disposées
« pour la vente de la saline; près de ces places est une
« pompe donnant de l'eau de puits nécessaire à cette den-
« rée. En outre, on trouve dans la cave de ce pavillon une
« vaste cuve d'eau courante, divisée en compartiments
« fermés par des grillages, laquelle sert soit aux provi-
« sions de poisson, soit au dépôt des arrivages en dehors
« des heures de vente.

. . . .

« Les boutiques pour la volaille et le gibier se com-
« posent de quatre colonnettes reliées sur trois faces par
« une partie pleine en bois, d'un mètre de haut dans le bas,
« ou par des traverses formant couronnement dans le haut.
« Au-dessus des parties pleines sont des panneaux de
« treillages en fer galvanisé, à larges mailles, pour les sé-
« parations entre les places. Comme ces séparations sont
« mobiles, quelques marchandes occupent deux comparti-
« ments réunis. Des tablettes, des crochets à différentes
« hauteurs et un comptoir recouvert en marbre sur le de-
« vant complètent l'aménagement des places. Ce comptoir
« forme en même temps un cageon à deux étages pour les
« lapins et les pigeons vivants. »

L'eau et le gaz jouent un grand rôle dans l'aménagement intérieur des Halles. On n'y a pas établi de fontaines jail-

issantes, qui ont le double inconvénient d'entretenir trop l'humidité « et de n'être pas commodes pour le service. Huit fontaines à robinet sont établies dans chacun des pavillons d'angle, et quelques autres, suivant les besoins, dans les autres pavillons des deux corps de Halles. Ces fontaines ne donnent de l'eau qu'à volonté, selon les besoins du commerce.

« En outre, des boîtes en fonte contenant des robinets avec amorces de tuyaux munis d'un pas de vis pour recevoir les douilles taraudées des tuyaux d'arrosage sont établies en tête de chaque ligne de places. Le robinet, lorsqu'il n'est pas employé aux lavages et aux arrosages généraux, lance l'eau dans les gargouilles ou caniveaux couverts emmanchés sur les boîtes, et en opère le nettoyage. En outre, les eaux de puits étant nécessaires pour certaines opérations, telles que la malaxation des beurres, le dessalage de la saline, le lavage des triperies et issues de veaux, trois puits munis de pompes sont établis sur des points convenables. »

Plus de 1.300 becs de gaz éclairent toutes les parties de l'édifice.

« Les canaux qui répandent l'eau et le gaz se branchent directement sur les conduites des eaux de la ville de Paris et du gaz de la Compagnie parisienne. Afin de prévenir toute interruption dans le service des fontaines et des robinets des boutiques de poisson, un réservoir central a été établi, lequel est assez vaste pour fournir d'eau tous les jets distributeurs des Halles pendant plusieurs jours, pour le cas où des réparations inévitables entraîneraient le chômage momentané des conduites principales. La réparation et l'entretien de ces canaux ne présentent, du reste, aucune difficulté, la canalisation générale ayant lieu par une longue série de tuyaux suspendus aux voûtes des caves d'une manière apparente et facilement accessible. »

Parmi les sous-sols, il en est deux qui ne renferment pas de divisions fixes et permanentes : ce sont ceux des pavillons 3 et 6 consacrés, le premier, au dépôt des viandes placées sur des tables mobiles ; le second, au dépôt des paniers et des caisses de fruits, pour les facteurs de la vente en gros des fruits et légumes, ainsi que des denrées mises en fourrière pour contraventions sur la voie publique. Le sous-sol du pavillon n° 6 renferme aussi, dans une enceinte close de barrières mobiles, les denrées invendues le jour même et qui doivent être étalées de nouveau le lendemain sur le carreau des Halles.

Les huit autres sous-sols sont tous pourvus de resserres fixes, ayant généralement 4 mètres superficiels (2 mètres sur 2 mètres), entourées par des treillis en fer de 2 mètres de hauteur, closes à leur partie supérieure. Dans le pavillon n° 9, où l'on emmagasine, outre la saline, les paniers, mannes et tonneaux qui servent à la transport, les resserres atteignent 6 mètres de long sur 2 mètres de large.

Le pavement a été construit sans pente dans les sous-sols des pavillons 7, 8 et 11. Il en résulte un grave inconvénient, surtout pour le dernier, où se trouve la tuerie de la volaille, qui exige des lavages fréquents pour l'enlèvement des matières sanguinolentes. Cette défectuosité s'explique par ce fait que l'affectation des sous-sols aux diverses destinations qu'ils comportent s'est faite peu à peu, avec la gêne et l'incertitude résultant de la suppression des pavillons 1 et 2. Aussi la *Monographie des Halles* ne donne-t-elle pas, à beaucoup près, sur les sous-sols, des détails aussi étendus que sur les rez-de-chaussée des pavillons.

Quatre escaliers établissent la communication entre chacun des sous-sols et le rez-de-chaussée correspondant, sauf aux pavillons 9 et 10, où l'on n'en a établi qu'un.

Il n'existe dans les sous-sols qu'un seul cabinet d'aisances, au pavillon n° 4.

Des tables d'abatage pour la volaille se trouvent dans les sous-sols des pavillons 4 et 11.

La manipulation des têtes de moutons, pour l'extraction des cervelles, exige aussi un développement considérable de tables fixes qui sont installées dans le sous-sol du pavillon 5.

L'ouvrage auquel est empruntée la description qui précède ne donne aucun détail précis sur la manière dont les habiles architectes, auteurs de l'œuvre magistrale à laquelle leur nom restera attaché, entendaient assurer le renouvellement de l'air dans les sous-sols. « Les châssis de jonction « des arêtiers (des voûtes d'arêtes) sont garnis de grilles « ou de vitres-dalles de 3 centimètres d'épaisseur, de ma« nière à donner aux caves soit de l'air, soit du jour, sans « préjudice des soupiraux percés dans la pierre des sou« bassements, au pourtour des pavillons, et des trémies en « fonte mariées à l'appareil des voûtes vers les murs de « face extérieurs. » Ces grilles, ces soupiraux et ces trémies sont d'une insuffisance que l'on ne tarda pas à reconnaître, et à laquelle on avait cherché depuis longtemps à remédier par l'établissement de grandes cheminées d'appel, qui devaient puiser l'air vicié dans les sous-sols, où la ventilation était plus particulièment nécessaire, et le rejeter au-dessus des combles. Les causes qui s'opposaient à la complète réussite de ces moyens supplémentaires de ventilation ont été, de la part de la Commission, l'objet d'une étude approfondie ; et les moyens de corriger le système actuel et d'assurer le renouvellement de l'air sont indiqués d'une manière précise dans le travail d'une Sous-Commission spécialement chargée de cette étude. (Voir le rapport présenté par M. Léonce Vée, à la suite du présent rapport.)

Discussion relative à l'insalubrité des Halles. — Mais, pour ne pas intervertir l'ordre que la Commission a voulu suivre dans ses travaux, il convient d'aborder avant tout la

question préjudicielle qui n'a pas tardé à l'occuper dès premières réunions.

Les plaintes formulées jusqu'à ce jour contre l'insalubrité des Halles n'ont réellement signalé que des émanations désagréables à l'odorat. La Commission a recon l'existence de ces émanations, qui se produisent princip lement dans les sous-sols des pavillons 4, 5, 11 et Aucun fait précis n'a été, d'ailleurs, articulé à l'appui l'opinion qu'elles sont réellement malsaines. Or il résu d'observations déjà anciennes, que la santé de person habituellement exposées à certaines émanations infec paraît ne pas en souffrir. Un rapport fait en 1810 MM. Deyeux, Parmentier et Pariset, sur le clos d'équarr sage qui existait à cette époque à la Gare, parle avec s prise de l'état de santé brillante où se trouvait la fam attachée à ce travail. Cependant l'équarrisseur, sa fem et ses cinq enfants, séjournaient toute l'année dans l clos et couchaient dans le lieu même où il fut impossi aux membres de la Commission de pénétrer, à cause l'excessive infection qui s'en exhalait. Parent-Duchatelet (qui cite ce rapport, a procédé lui-même à des investi tions sur l'influence que les émanations infectes exerc sur la santé de ceux qui y sont constamment exposés, e a recueilli un ensemble remarquable de faits et d'ex riences qui l'ont conduit à des résultats entièrement né tifs. Se passe-t-il quelque chose de semblable en ce concerne l'agglomération des Halles? Ou bien les exhal sons désagréables dont on se plaint à bon droit ont-e une influence appréciable sur la santé soit des person que leurs affaires ou leur profession y retiennent, soit d population du quartier?

(*) *Les Chantiers d'équarrissage de la ville de Paris* envi sous le rapport de l'hygiène publique. XIII° mémoire de la col tion des œuvres de Parent-Duchâtelet, publiée par Fr. Leure 1836. — (Baillière, 2 vol. in-8°.)

La question une fois posée devait être résolue par la Commission elle-même. Elle a été étudiée à fond par une Sous-Commission composée de MM. les docteurs Poggiale et Worms et de M. Biollay. Or il résulte de l'enquête à laquelle s'est livrée la Sous-Commission une coïncidence remarquable avec les résultats négatifs observés par Parent-Duchâtelet.

Les personnes qui passent une partie de leur existence dans les sous-sols des Halles, tout en avouant que les mauvaises odeurs qu'on y respire deviennent intolérables pendant les chaleurs, déclarent unanimement qu'elles ne sont pas plus que d'autres exposées aux maladies. On ne peut constater parmi elles aucune affection morbide prédominante. Les agents employés à divers titres par l'administration au nettoyage et à la surveillance des différentes parties des Halles paraissent également n'être placés sous aucune influence fâcheuse. Leur santé est généralement très-bonne, et les épidémies passent pour ainsi dire inaperçues pour eux.

L'influence des Halles ne se fait pas sentir davantage sur la santé des habitants du quartier. Car, d'abord, le nombre des décès pour 10.000 habitants, résultant des relevés mensuels publiés par la Préfecture de la Seine, pendant cinquante-neuf mois, entre le 1er janvier 1868 et le 31 décembre 1873, est, pour le 4e arrondissement, notablement moindre que pour la ville entière. Quatre fois seulement, en décembre 1868, en juillet 1870, en décembre 1872 et en décembre 1873, la mortalité y a excédé la mortalité générale des vingt arrondissements réunis; et cette anomalie s'est présentée trois fois au cœur de l'hiver, à l'époque où les émanations des sous-sols sont à peine sensibles. Les épidémies, d'un autre côté, ne paraissent pas trouver dans le quartier des Halles un milieu plus favorable pour éclore et pour se propager. En 1865 et en 1873, le chiffre des décès cholériques y a été noblement inférieur à la moyenne

générale de Paris; et les rues où l'on a constaté le pl grand nombre de cas mortels ne sont pas les plus voisi des Halles.

Les conclusions de la Sous-Commission n'en ont p moins été formulées avec une extrême prudence, lorsqu'e s'est bornée à déclarer, par l'organe de son rapporte M. le docteur Worms, « qu'elle n'a rencontré aucun fait q « dénote une influence pernicieuse exercée par l'état de « sous-sols, soit sur les personnes qui y séjournent, soi « sur les habitants du voisinage. »

Elles ont été adoptées par la Commission, qui n'a pas cr néanmoins, sa mission terminée, même en présence de c résultat purement négatif. On y a fait entrevoir des caus qui peuvent combattre accidentellement les émanati malsaines; on s'y est demandé si l'aisance relative q règne dans le 1er arrondissement, si la nourriture substa tielle et abondante que le personnel des Halles est à mê de se procurer à des prix réduits, si les conditions de co stitution saine et de vigueur musculaire que l'on recherc naturellement pour le recrutement du personnel des Halle n'entraient pas pour une forte part dans cette résistanc constatée aux influences morbifiques. Enfin on a pen qu'alors même que la santé publique ne paraît pas souff sensiblement des émanations infectes qui ont soulevé ta de plaintes, les motifs surabondent pour chercher à pr venir autant que possible la naissance de ces émanation et pour étudier les meilleurs moyens de chasser celles q malgré toutes les précautions prises, viennent à se p duire. En effet, l'administration ne peut se dispenser d'a pliquer aux établissements dont la gestion et la police l incombent les mesures d'assainissement qu'elle ne manqu pas de prescrire pour les établissements particuliers et po les propriétés privées dans des cas analogues, où cepend l'intérêt public semble moins fortement en jeu. En out l'état actuel des choses nuit trop à la conservation des de

rées alimentaires (*) pour qu'on se dispense d'y porter remède. Enfin, lorsque l'administration municipale s'occupe avec une sollicitude incessante de tout ce qui peut contribuer à l'utilité et à l'agrément de la grande agglomération parisienne et des étrangers qui viennent visiter la ville, pourrait-elle rester indifférente à des inconvénients qui ont soulevé tant de plaintes? Par toutes ces considérations, la Commission, unanime sur la détermination du but à atteindre, a poursuivi le cours de ses investigations.

Moyens employés actuellement pour prévenir ou atténuer les causes d'infection. — Le nettoyage de toutes les parties des Halles, l'enlèvement des déchets et détritus de toute nature est le premier remède qui se présente naturellement pour extirper, à leur naissance même, les causes d'infection. Cette opération importante s'effectue sous la direction des ingénieurs du service municipal et sous la surveillance immédiate d'un conducteur principal que, sur l'initiative de M. l'ingénieur en chef Vaissière, la Commission a entendu avec beaucoup d'intérêt.

Le *balayage* est incessant et s'étend chaque jour à la superficie entière des Halles; il dure douze heures en hiver, treize heures en été. On y emploie successivement divers engins, depuis le rabot de bois pour raclage préalable en

(*) Parent-Duchâtelet, dans ses intéressantes *Recherches pour déterminer jusqu'à quel point les émanations putrides provenant de la décomposition des matières animales peuvent contribuer à l'altération des substances alimentaires* (publiées pour la première fois en 1831), incline fortement pour la négative. Cependant il reconnaît que le bouillon, l'eau distillée et quelques autres matières peuvent bien *s'imprégner* de ces émanations; aussi hésite-t-il à formuler son opinion d'une manière absolue. Or, n'y eût-il que l'inconvénient résultant de l'imprégnation, on comprend qu'il serait difficile de combattre, même après la série d'expériences qu'il a faites et relatées, « une opinion qui, jusqu'ici », comme il le dit lui-même, « a eu pour elle la force et l'autorité que donne l'assentiment général ».

tas, jusqu'à la machine balayeuse, qui donne au travail de l'extérieur tout le fini dont il est susceptible.

L'*enlèvement des détritus* se fait aussi tous les jours et sur l'étendue entière des Halles, avec une interruption de quelques heures pendant l'après-midi. 200 à 220 mètres cubes de détritus, parmi lesquels 35 environ proviennent des sous-sols, sont enlevés ainsi quotidiennement.

Les *lavages* ont lieu tous les jours dans les parties signalées plus particulièrement comme foyers d'infection, savoir : dans les pavillons et les sous-sols n°s 5 et 9 (triperie et marée); dans les sous-sols des pavillons n°s 4 et 11 (tueries des volailles et des pigeons). On a réparti entre les autres jours de la semaine, sauf le jeudi, le lavage des allées couvertes, des rez-de-chaussée et des sous-sols non désignés ci-dessus. On emploie d'abord l'eau ordinaire et l'on frotte avec des brosses en fibres de *piassava* (*). On ajoute de l'eau chlorurée lorsqu'on le juge nécessaire, et l'on termine en passant une raclette en caoutchouc qui nettoie à fond et assèche immédiatement les parties mouillées.

Les substances employées, soit pour prévenir la décomposition des matières putrescibles, soit pour désinfecter alors que la désorganisation a commencé, sont l'acide phénique, le chlorure de chaux et le sulfate de zinc. L'acide chlorhydrique et l'essence de mirbane impure (nitrobenzine) servent au nettoyage des parties encrassées.

Améliorations proposées dans le service du nettoiement. — Les améliorations dont le nettoiement des Halles serait susceptible ont été longuement et soigneusement énumérées, d'abord dans l'exposé verbal, ensuite dans la note soumise par le conducteur principal du service à l'examen de la Commission. Au nombre des mesures proposées, il en

---

(*) Espèce de palmier qui croît au Brésil et au Vénézuéla, et dont l'emploi paraît avoir été fait d'abord en Angleterre.

est d'ordre purement administratif qui ressortissent à la Préfecture de police, et dans la discussion desquelles la Commission n'a pas jugé utile de s'engager. Il suffit que l'attention de l'autorité compétente soit attirée, par la production de ce document, sur la convenance d'une étude de détail qui pourra faire ressortir l'utilité d'une partie au moins des mesures proposées. Quant aux améliorations purement matérielles, leur réalisation dépend du service de la voie publique qui les réclame, et, par conséquent, de l'administration préfectorale. La Commission ne peut qu'appuyer auprès de cette administration l'ensemble des propositions qui lui ont été communiquées par l'intermédiaire de M. l'ingénieur en chef Vaissière, l'un de ses membres. Elle a, d'ailleurs, donné des soins particuliers à l'étude de celles de ces propositions que leur importance lui signalait d'une manière spéciale, à savoir au service des eaux, à l'amélioration des latrines, à certaines modifications dans la distribution des locaux et dans les aménagements intérieurs, et surtout à l'établissement d'un système convenable d'aérage et de ventilation pour les sous-sols.

En ce qui concerne les agents chimiques employés au nettoiement ou à la désinfection, un membre à l'avis duquel ses travaux scientifiques et ses fonctions donnent une incontestable autorité, M. le docteur Poggiale, a communiqué à la Commission deux notes dans lesquelles il examine la nature et les effets de ces agents pour prévenir ou combattre les causes d'infection dans les différentes parties des Halles et notamment dans les latrines. L'acide phénique n'est pas un désinfectant, à proprement parler; mais il arrête ou prévient la fermentation et doit être considéré comme un moyen préventif de premier ordre. Le chlore, au contraire, et les composés qui le dégagent, comme le chlorure de chaux, sont les désinfectants par excellence; mais ils n'arrêtent pas la décomposition des matières organiques. Ces deux natures d'agents sont donc employées si-

multanément pour prévenir ou atténuer le dégagement des exhalaisons infectes dans les Halles centrales. Quant aux sels métalliques comme ceux de fer, de zinc et de manganèse, et même la liqueur de M. Paulet (eaux acides provenant de la fabrication de la nitrobenzine saturées par l'oxyde de zinc et contenant un peu de nitrobenzine), ils détruisent l'hydrogène sulfuré, l'ammoniaque et les sels ammoniacaux, font disparaître en grande partie la mauvaise odeur qui provient de ces substances, mais ils n'exercent aucune action appréciable sur les organismes et sur les matières volatiles d'odeur fétide provenant de la décomposition des corps organisés. On doit les employer surtout contre les exhalaisons sulfureuses et ammoniacales, particulièrement dans le nettoyage des cabinets d'aisances.

Tel est le résumé des deux notes de M. le docteur Poggiale. Elles jettent une vive lumière sur une épineuse question ; elles mettront les agents du service de la voie publique à même d'opérer, suivant les cas, avec pleine connaissance de cause (*).

Sur l'initiative d'un des membres, la Commission s'est occupée d'une préparation nouvelle à base d'acide phénique, qui a été présentée par MM. Émile Rousseau et fils, fabricants de produits chimiques. Cette préparation a été essayée, et le conducteur principal chargé du service du nettoiement a rendu compte des résultats très-favorables de cet essai. Cependant la Sous-Commission, à laquelle la note de M. Demont avait été renvoyée, a pensé que la Commission ne saurait conseiller l'emploi de cette substance sans en connaître la composition. Cet avis a été ratifié par la Commission à l'unanimité (**).

(*) L'ingénieur en chef de ce service les a fait autographier et distribuer aux agents placés sous ses ordres.

(**) Postérieurement à la rédaction du présent rapport, MM. Rousseau ont adressé au Président de la Commission une note indiquant la composition demandée. Cette note et la lettre d'envoi figurent dans les pièces annexes.

Améliorations proposées dans le service des eaux. — L'attention de la Commission s'est portée, dès ses premières séances, sur le service des eaux et sur les modifications qu'il serait désirable d'y apporter. Des doutes existaient à ce sujet : les lavages réitérés, qui sont si desirables au point de vue de la propreté du sol et des parois, dans les sous-sols surtout, paraissent y déterminer, par les temps chauds, une buée nuisible à la conservation des matières animales qu'on y prépare pour la consommation, à ce point que le commerce réclame contre la fréquence des lavages. Mais on a fait observer que les inconvénients qui en résultent seraient fort atténués ou même disparaîtraient, si l'on employait simultanément un système de ventilation énergique, de manière à chasser la buée et à dessécher les parois humides. La question a été traitée complétement par M. l'ingénieur en chef Rousselle dans une note et dans un rapport. La note rend compte de l'état actuel du service; elle énumère les conduites principales faisant ceinture autour du quadrilatère des Halles, les conduites auxiliaires, les pressions dont on dispose. Elle reconnaît que ces pressions peuvent devenir insuffisantes pour certains pavillons desservis, au rez-de-chaussée et dans les caves, par l'effet d'une prise unique faite sur l'une des conduites principales. Elle reconnaît aussi que les conduites de distribution suspendues aux voûtes des sous-sols étant barrées pendant les mois où les gelées sont à craindre, il peut résulter de cet état de choses certaines souffrances pendant les mois d'hiver. Quoi qu'il en soit, on évalue à 2000 mètres cubes la consommation d'eau qui se fait chaque jour dans les Halles, quantité considérable, et qui pourrait suffire à l'alimentation d'une ville de 20000 âmes.

Le rapport de M. Rousselle a été fait au nom d'une Sous-Commission composée de représentants du service des Ponts et Chaussées et du service d'architecture. Il développe, en les motivant fortement, des propositions que la

note précédente avait déjà fait pressentir, et même partiellement énoncées. La pose d'une conduite nouvelle d'eau de l'Ourcq, sur laquelle viendront se raccorder toutes les canalisations intérieures, et, si cela est reconnu nécessaire pour quelques pavillons, la séparation du service du rez-de-chaussée et de celui du sous-sol; l'établissement de neuf nouvelles bouches, de vingt robinets de lavage et de sept boîtes d'arrosement à la lance, de quatre grandes bouches nouvelles destinées au service des pompes à vapeur en cas d'incendie; l'établissement, dans le sous-sol de chacun des pavillons, d'un appareil de puisage greffé sur la conduite nouvelle et disposé de manière à n'être pas exposé aux atteintes de la gelée : telles sont les améliorations que propose la Commission, complétement d'accord avec les conclusions du rapport. La proposition d'établir des bouches spéciales pour parer aux incendies est en dehors de notre mission. Nous n'avons pas pensé néanmoins que nous dussions, à raison de son incontestable utilité, l'exclure d'un programme de travaux aussi bien conçu que clairement exposé; il nous suffira d'avoir ici reconnu notre incompétence.

Étude de nouveaux aménagements intérieurs. — Dès la seconde réunion, la Commission avait été frappée de voir des genres similaires de commerce placés à deux extrémités différentes des Halles (pavillons 4 et 11); il lui avait paru que la réunion dans un même sous-sol (pavillon 11) des volailles vivantes et de la tuerie était chose désirable; que l'absence de déclivité dans le pavement de ce sous-sol, que l'impossibilité de procéder à des lavages de la partie inférieure des resserres à volailles faute d'écoulement possible, offraient, au point de vue de la salubrité, des inconvénients auxquels il était nécessaire de remédier.

Elle avait donc demandé aux membres appartenant au

service d'architecture de la ville des études ayant pour but de faire disparaître ces inconvénients.

Elle avait aussi plus d'une fois signalé l'insuffisance des cabinets d'aisances existants et les défectuosités de leur aménagement.

Plus tard, elle a formulé d'une manière sommaire le programme d'une réorganisation complète de l'atelier de préparation des cervelles de mouton, établi dans le sous-sol du pavillon n° 5.

Les critiques auxquelles donne lieu l'état actuel des choses ne portent d'ailleurs en rien sur le plan primitif de l'établissement, et ne sauraient atteindre les auteurs de l'œuvre grandiose à la conception comme à l'exécution de laquelle la Commission a rendu plus d'une fois hommage. L'ajournement de la construction des pavillons 1 et 2 a entraîné une série de modifications de détail dans la distribution des locaux ; c'est ainsi que des affectations considérées d'abord comme provisoires doivent être modifiées aujourd'hui.

M. l'architecte Radigon, spécialement chargé des Halles sous la haute direction de M. Magne, inspecteur général du service d'architecture, a procédé aux études demandées et en a placé les résultats sous les yeux de la Commission.

Dans le sous-sol du pavillon n° 5, le plateau employé à la manipulation des têtes de mouton serait agrandi de 90 mètres superficiels au moyen de la suppression de 20 resserres du côté du nord. Cependant, on établirait 36 resserres nouvelles au sud, de sorte qu'il y aurait, en définitive, 16 resserres de plus qu'aujourd'hui. Suivant le programme tracé par la Commission, le sol serait remanié de manière à faciliter l'écoulement des liquides sanguinolents ; les parois latérales seraient revêtues de marbre ou de faïence, de manière à devenir aussi imperméables que possible et à pouvoir être maintenues dans un état constant de propreté ; la lumière y serait plus également distribuée,

et le plateau de la triperie serait séparé des resserres par une grille.

D'un autre côté, l'atelier de tuerie et de préparation de la volaille et du gibier, existant au pavillon n° 4, serait transféré du sous-sol de ce pavillon au sous-sol du pavillon n° 11, et réuni à l'atelier semblable qui existe dans ce dernier pavillon. Le pavement serait refait avec des pentes longitudinales et transversales convenables pour écouler les eaux et pour en amener le déversement final dans le réservoir où elles passent avant d'aboutir à l'égout.

La partie inférieure des resserres à volailles, recouvertes aussi d'un pavement ou d'un enduit imperméable, serait en saillie sur le dallage environnant, de manière à faciliter, avec des pentes, l'écoulement des eaux de lavage.

Enfin on créerait, au rez-de-chaussée du pavillon n° 10, un groupe nouveau de cinq cabinets d'aisances, à l'usage exclusif des femmes.

Les dépenses nécessaires à ces aménagements sont évaluées à 190 500 francs ; mais on peut défalquer de cette somme 18 000 francs, afférents à l'établissement d'une alimentation d'eau supplémentaire qui doit être établie dans les dix pavillons par les soins du service des eaux.

Assainissement des latrines existantes. — Les lieux d'aisances mis à la disposition du public dans l'intérieur des Halles, tant à titre gratuit que moyennant un faible péage, laissent beaucoup à désirer sous le rapport de la ventilation et parfois même sous le rapport de la propreté. Les explications données à la Commission sur le fonctionnement du service spécial auquel incombe le nettoiement démontrent qu'on ne réalisera d'améliorations sensibles qu'en augmentant le nombre des places disponibles et en procédant à des aménagements nouveaux dans les latrines existantes. La plupart des siéges sont à trou béant; les tuyaux d'évent dont les fosses sont pourvues sont insuffi-

sants. On a trop compté, peut-être, sur le renouvellement spontané de l'air ambiant, dans l'espace volumineux dont on dispose.

En réalité, il est possible de prévenir toute émanation désagréable, même en laissant les ouvertures béantes, pourvu que des tuyaux d'évent de section suffisante, à la partie inférieure desquels on maintiendra des becs de gaz constamment allumés, déterminent un puissant courant ascensionnel de la fosse vers la partie supérieure de l'édifice, et par conséquent un mouvement de descente de l'air ambiant dans la fosse à travers les ouvertures des siéges. C'est d'après ces principes déjà connus depuis longtemps, parfois trop oubliés, que les divers groupes de cabinets d'aisances existant aujourd'hui dans les Halles devront être aménagés, et que le nouveau groupe projeté devra être établi. La reconstruction intégrale du cabinet qui se trouve aujourd'hui dans le sous-sol du pavillon n° 4 est particulièrement recommandée par la Commission ; une fosse devra être creusée au-dessous du niveau inférieur du sous-sol pour recevoir les tinettes mobiles qui sont placées aujourd'hui au-dessus de ce niveau, sous une simple enveloppe en menuiserie ; les abords seront disposés et des engins spéciaux seront préparés de manière que l'enlèvement des tinettes pleines et leur remplacement immédiat par des tinettes vides s'opèrent avec promptitude et sûreté (*).

Perfectionnements à introduire dans quelques agencements

(*) Les principes auxquels nous venons de faire allusion ont été exposés, il y a déjà cinquante ans, dans un travail demeuré célèbre, de feu d'Arcet, publié sous le titre : *Instruction du Conseil de salubrité sur la construction des latrines publiques et sur l'assainissement des latrines et des fosses d'aisances*, réimprimé par les soins de la *Société royale pour l'amélioration des prisons*, en 1825. Mais il résulte des recherches de M. Viollet-Leduc qu'on savait déjà pratiquer, au moyen âge, la plupart des dispositions que nous nous efforçons d'introduire aujourd'hui dans nos constructions

accessoires. — La Commission n'avait à s'occuper des perfectionnements à introduire dans les accessoires de l'installation des Halles qu'autant qu'ils peuvent intéresser l'assainissement. Elle s'est donc bornée à approuver d'une manière générale, et sans entrer dans les détails, les indications données à ce sujet dans la note relative au nettoiement. Elle a prêté cependant une attention particulière à l'idée d'ascenseurs qui faciliteraient l'évacuation, au niveau du rez-de-chaussée, des détritus qui tendent incessamment à s'accumuler dans le sous-sol. Elle a insisté pour que le mouvement ascensionnel soit déterminé, soit par la force motrice d'un volume d'eau empruntée aux réservoirs de la ville, emmagasiné, au besoin, et mis en réserve au moyen d'accumulateurs, soit par le poids des hommes de service : elle a proscrit l'emploi de mécanismes mis en mouvement par la chaleur, qui lui paraissent offrir de sérieux inconvénients.

Système général de ventilation à adopter. — Mais c'est dans l'emploi d'un système de ventilation énergique, fonctionnant d'une manière permanente et régulière, que la

---

publiques et privées. Dès le XV[e] siècle, il y avait au château de Pierrefonds une tour destinée aux latrines de la garnison, avec fosses complétement étanches, pertuis d'extraction, ventilateur, etc. « La dernière trémie se prolongeait, par une cheminée latérale, « jusqu'au-dessus des combles, de manière à former appel, et près « du tuyau de prolongation de cette dernière trémie était disposé « un petit foyer pour activer cet appel. Il faut bien reconnaître « que beaucoup de nos établissements occupés par un personnel « nombreux, tels que les casernes, les lycées, les séminaires, « n'ont pas de latrines aussi bien disposées que celles-ci. Observons que, grâce au pertuis latéral d'extraction de la fosse et au « massif central, il était très-facile de faire des vidanges fré« quentes et promptes; que, d'ailleurs, toutes les entrées ména« gées, aux divers étages de cette tour, consistent en des couloirs « longs, détournés, ventilés eux-mêmes et fermés par des doubles « portes. » (Viollet-Leduc, *Dictionnaire raisonné de l'architecture du moyen âge*.)

Commission a vu le remède le plus efficace aux émanations dont on n'aura réussi à prévenir les causes ni par le nettoiement, ni par les agents chimiques, ni par les meilleurs aménagements particuliers.

Les procès-verbaux des séances portent les traces de la juste préoccupation qui ramenait naturellement la discussion dans cet ordre d'idées.

Une Sous-Commission spéciale, présidée par M. le docteur Poggiale et ayant pour rapporteur M. Léonce Vée, a procédé, pendant trois mois consécutifs, à des recherches et à des expériences qui ont abouti à des conclusions empreintes d'un caractère essentiellement pratique. Les résultats de ces travaux, consignés dans le rapport de M. Vée ont été, dans le sein de la Commission, l'objet d'une discussion approfondie, à la suite de laquelle les conclusions qui lui étaient soumises ont été adoptées à l'unanimité. L'Administration avait déjà reçu, antérieurement à la formation de la Commission, et lui avait transmis, aussitôt qu'elle s'était réunie, des propositions nombreuses et un petit nombre de projets relatifs à l'établissement d'une ventilation dans les Halles. Après un nouvel avis aux auteurs de ces propositions, le nombre des projets présentés dans des conditions offrant des garanties suffisantes d'études sérieuses s'est réduit à trois, parmi lesquels la Sous-Commission n'en a pu complétement approuver aucun. Mais elle a reconnu le mérite d'un projet de ventilation par appel, soigneusement étudié par MM. Geneste fils et Herscher; et elle a pensé qu'on pourrait employer à titre accessoire la chaleur développée par les becs d'éclairage pour chauffer les cheminées d'évacuation, chaleur qui, dans le projet de M. d'Hamelincourt, donnerait le seul et unique moyen de produire l'appel.

La Sous-Commission avait reconnu la nécessité de procéder à des expériences sur place pour déterminer à la fois la puissance de ventilation des cheminées existantes et le prix

de revient de l'appel fait au moyen de la combustion directe du gaz dans ces cheminées. Des thermomètres ont été placés en différents points du sous-sol et du rez-de-chaussée du pavillon n° 11 et à l'intérieur d'une cheminée d'appel, de manière à faire connaître les températures de l'air à renouveler, de l'air extérieur et du courant ascensionnel qui détermine l'appel. La bouche d'aspiration de la cheminée a été descendue jusqu'à 60 centimètres seulement du pavement du sous-sol; un appareil à gaz, composé de deux couronnes concentriques contenant 33 becs dans un plan horizontal, a été placé à 20 centimètres au-dessus de cette bouche, à l'intérieur de la cheminée. Un compteur à gaz a servi à évaluer la dépense, et des anémomètres mesurant la vitesse du courant ont permis de calculer le volume de l'air évacué dans un temps déterminé. Il résulte des expériences dont la Sous-Commission a donné le détail que dans une des cheminées du pavillon n° 11, munie, à sa partie supérieure, d'un appareil Noaillier, par lequel la sortie des gaz est entravée, la combustion d'un mètre cube de gaz a produit en moyenne une élévation de température de 2°,1 et un débit de 837 mètres cubes à l'heure. Mais il y a lieu de croire qu'en substituant à l'appareil Noaillier un simple chapeau placé à 1 mètre environ de l'ouverture supérieure, le débit serait porté à 1 000 mètres cubes par mètre cube de gaz brûlé. C'est une donnée généralement admise, avec laquelle les expériences faites aux Halles se trouvent ainsi en accord d'une manière satisfaisante.

Chacune des quatre cheminées d'aérage existantes, après qu'on les aura modifiées à la base et au sommet comme on l'a déjà dit, pourra facilement évacuer de 5 à 6 000 mètres cubes à l'heure sous l'influence du chauffage produit par la combustion de 15 à 30 becs de gaz, suivant la saison. C'est un renouvellement d'air de 20 à 22 000 mètres cubes à l'heure, correspondant à un renouvellement de trois fois la capacité du sous-sol et à une vitesse d'écoulement de

1 mètre à $1^{m},20$ par seconde dans les cheminées, paraît bien suffisant. Le projet de M. d'Hamelincourt supposait un renouvellement simple, le projet de MM. Geneste et Herscher un renouvellement au moins quadruple de l'air du sous-sol; la vérité paraît être entre ces deux termes extrêmes et beaucoup plus rapprochée du second que du premier.

C'est donc à la ventilation par appel que la Sous-Commission a donné une préférence motivée par la disposition même des lieux et par le nombre des ouvertures communiquant avec l'air extérieur, à l'exclusion de la ventilation par insufflation, qui ne peut être admise que pour des locaux hermétiquement fermés. Elle n'a voulu demander qu'à la chaleur produite par l'allumage d'un certain nombre de becs de gaz le mouvement ascensionnel de l'air dans les cheminées, écartant les moteurs mécaniques qui empruntent leur force motrice à la vapeur d'eau, moteurs dont le projet de MM. Geneste et Herscher suppose l'emploi. Il résulte de l'examen comparatif auquel la question a été soumise par elle, qu'au point de vue de la facilité du service comme au point de vue de l'économie, l'avantage reste incontestablement à l'emploi des foyers à gaz comme moyen d'appel.

Mais, pour que le mouvement de l'air qui s'écoule par les cheminées soit utilisé de la manière la plus convenable au renouvellement de l'air du sous-sol, il faut que des ouvertures spéciales, que des *bouches d'appel* l'aspirent et le dirigent vers ces cheminées d'évacuation. Les études de MM. Geneste et Herscher sur la disposition et l'emplacement des bouches d'appel, ainsi que de la canalisation souterraine qui les met en communication avec les cheminées, ont paru bien conçues et pourront fournir des indications utiles lorsqu'il s'agira de procéder à l'exécution du système adopté. La Sous-Commission n'a pas cru néanmoins possible de déterminer actuellement l'emplacement des bou-

ches d'appel; elle a pensé qu'il serait nécessaire de procéder ultérieurement à une étude spéciale à ce sujet. Mais elle a indiqué le système général de canalisation souterraine à établir pour le renouvellement de l'air. Elle a pensé d'ailleurs que l'idée d'utiliser pour la ventilation la chaleur actuellement perdue que développent les becs d'éclairage devait être prise en considération. Cette source de chaleur, qui est la base unique du projet de M. d'Hamelincourt, avait été indiquée dans le cours des délibérations par un des membres de la Commission (M. Paliard), mais seulement comme moyen auxiliaire; la Sous-Commission l'a adoptée à ce titre.

Mesures de police relatives à l'assainissement. — La Commission, au commencement même de ses travaux, a reconnu l'importance que devait avoir, pour l'assainissement des Halles, l'observation de certaines mesures de précaution, l'usage d'un matériel approprié, la séparation incessante et l'enlèvement rapide des déchets résultant de la mise en état de vente des denrées alimentaires. L'ordonnance du 30 décembre 1865, concernant la police des marchés publics, qui règle la matière, a coordonné en un seul et même règlement les dispositions éparses dans un grand nombre de documents spéciaux, les a formulées d'une manière plus précise, et a comblé les lacunes des anciens textes. Il serait assurément impossible d'affirmer qu'elle a tout prévu et qu'il n'y aura jamais lieu d'en modifier certaines dispositions, d'en étendre quelques autres. Mais la Commission a reconnu qu'il n'y avait aucune utilité à diriger ses vues de ce côté; elle a pensé que la stricte exécution des sages dispositions dictées par une expérience plus que séculaire suffisait, actuellement du moins, pour assurer aux exigences de l'hygiène publique une part convenable de mesures préventives. Il ne lui était pas d'ailleurs interdit de se renseigner sur l'organisation administra-

tive qui préside à la surveillance. Celui de ses membres que la nature de ses fonctions mettait le mieux à même de l'éclairer, M. Mathieu, chef de bureau à la Préfecture de police, a donné à ce sujet des développements très-intéressants.

Mais la Commission a été frappée de l'avantage qu'il y aurait à établir, comme garantie suprême contre toute possibilité de relâchement ou de faiblesse de la part d'un nombreux personnel, un contrôle qui serait exercé incessamment par les membres d'une Commission mixte instituée de commun accord par la Préfecture de la Seine et par la Préfecture de police. L'utilité d'inspections de ce genre ne paraît pas douteuse; il n'est pas d'administration publique où le fonctionnement d'un rouage pareil n'ait produit d'excellents effets. Si l'autorité qu'exercent simultanément sur les Halles les chefs de ces deux grandes administrations ne peut donner lieu à aucun conflit entre des magistrats aussi haut placés, l'institution d'une Commission mixte permanente serait une garantie de plus pour assurer l'entente entre des agents chargés d'attributions différentes, il est vrai, mais placés journellement en contact immédiat. Par tous ces motifs, la Commission n'a pas hésité à émettre un vœu relatif au principe même de cette institution.

Dépenses que comporte l'assainissement des Halles. — Les dépenses que pourront exiger les mesures proposées par la Commission pour l'assainissement des Halles sont, les unes transitoires, les autres permanentes. A la première catégorie appartiennent celles que comportent les travaux prévus par le service d'architecture montant, à 190 500 francs et par le service des eaux, montant à 37 000 francs. Il est vrai que le premier de ces deux services avait déjà compté une partie des dépenses relatives à l'autre ; néanmoins, pour faire la part de l'imprévu, il sera bon de ne pas évaluer le total à moins de 220 000 francs pour les deux services.

Le chiffre des dépenses transitoires doit encore être grossi des frais de premier établissement du système de ventilation par appel que la Commission recommande; mais ces frais ne pourront être évalués qu'après la rédaction d'un projet définitif soigneusement étudié, dont elle s'est bornée à fixer les bases, en émettant le vœu que l'essai soit restreint d'abord à un seul pavillon.

Quant à la dépense permanente due à la combustion du gaz qui déterminera l'appel, on a lieu de croire qu'elle ne dépassera pas 2 francs par heure et par sous-sol; l'expérience seule fera connaître le nombre d'heures pendant lequel la ventilation devra être poussée avec l'activité que comporte cette dépense.

Résumé et conclusions. — En définitive, Monsieur le Préfet, si les exhalaisons infectes de certaines parties des Halles centrales ne paraissent exercer aucune influence pernicieuses ni sur les personnes qui y séjournent ni sur les habitants du voisinage, la Commission n'en a pas moins reconnu la convenance et même la nécessité d'en prévenir, autant que possible, la production et d'en atténuer les inconvénients. Le service du nettoiement, l'emploi des désinfectants, le service des eaux, déjà parfaitement organisés, lui ont paru susceptibles de quelques perfectionnements qu'elle a indiqués. Les aménagements intérieurs, dont l'ordonnance générale est excellente, présentent cependant quelques défectuosités dues principalement à ce que, dans l'état actuel, il manque deux pavillons prévus au projet primitif, dont la construction exigerait une dépense devant laquelle on hésite non sans raison aujourd'hui. Ces défectuosités peuvent disparaître, et le service d'architecture est à même de vous soumettre des études préparées dans ce but. L'assainissement des latrines existantes et l'établissement d'un nouveau groupe de cabinets d'aisances seront pareillement l'objet d'études nouvelles de la part de

service. Quelques perfectionnements de détail, certains ccessoires nouveaux, pourront aussi rendre plus promptes s manutentions qui donnent lieu à des déchets putres-ibles, faciliter l'enlèvement de ces déchets, et remédier ux inconvénients de la vidange du cabinet d'aisances exis-ant aujourd'hui dans le sous-sol du pavillon n° 4. Un sys-ème général de ventilation par appel, dont la Commission a esquissé les principales dispositions et les effets généraux, devra être appliqué d'abord au sous-sol du pavillon n° 11, et puis successivement, après une réussite constatée, aux parties des sous-sols où sont établies les manutentions à exhalaisons fétides. Enfin, comme complément de cet en-semble de mesures qui auront pour effet, les unes de pré-venir, au moins en partie, les causes d'infection, les autres d'en atténuer les effets, la Commission émet le vœu qu'une Commission mixte, instituée de commun accord par la Préfecture de la Seine et par la Préfecture de police, soit mise à même, d'une manière permanente, au moyen d'inspections générales et partielles, de renseigner l'admi-nistration sur l'observation des règlements existants, et d'indiquer, au besoin, les perfectionnements nouveaux à introduire, soit dans l'agencement matériel, soit dans la police des Halles.

Veuillez agréer, Monsieur le Préfet, l'expression de mon respect.

L'inspecteur général des Ponts et Chaussées,
président de la Commission,

L. Lalanne.

ANNEXES.

Liste des principaux ouvrages à consulter pour l'étude des questions relatives à l'assainissement des Halles.

Monographie des Halles centrales de Paris, par V. Baltard, membre de l'Institut, et feu Callet, architectes.— 1 vol. in-folio, Paris, 1863, Morel et C[ie].

Hygiène publique, ou mémoires sur les questions les plus importantes de l'hygiène appliquée aux professions et aux travaux d'utilité publique, par A. J. B. Parent-Duchâtelet. — 2 vol. in-8°, 1836, Paris, J. B. Baillière.

Traité de la salubrité dans les grandes villes, par MM. les docteurs J. B. Monfalcon et A. P. de Polinière, membres du conseil de salubrité du Rhône. — 1846, in-8°, Paris, Baillière.

Traité d'assainissement industriel, comprenant la description des principaux procédés employés dans les centres manufacturiers de l'Europe occidentale pour protéger la santé publique et l'agriculture contre les effets des travaux industriels (publié par ordre du Ministre de l'agriculture et du commerce), par Charles de Freycinet, ingénieur des mines. — Paris, Dunod, 1870, 1 vol. in-8° et atlas in-8°.

Principes de l'assainisement des villes, comprenant la description des principaux procédés employés dans les centres de population de l'Europe occidentale pour protéger la santé publique (publié par ordre du Ministre de l'agriculture et du commerce), par Ch. de Freycinet, ingénieur des mines. — 1 vol. texte in-8° et atlas, 1870, Dunod.

Société royale pour l'amélioration des prisons. — Rapport remis à M. le Dauphin par un membre de la Société, suivi du *Rapport du conseil de salubrité sur la construction des latrines publiques et sur l'assainissement des latrines et des fosses d'aisances*, par d'Arcet. — 1 vol. in-4°, Paris, 1825, imprimerie de Fain, rue Racine, n° 4.

Rapport adressé par une commission à M. le Ministre de l'intérieur sur la construction et l'assainissement des latrines et fosses d'aisances, par M. Grassi. — Brochure in-8°, Paris, 1858, Paul Dupont.

Hygiène publique. — Chauffage et ventilation des hôpitaux.

Étude comparative des deux systèmes de chauffage et de ventilation établis à l'hôpital Lariboisière, thèse pour le doctorat en médecine, présentée le 6 juin 1856 par le docteur C. Grassi. — 1 vol. in-4°, 1856, Paris, Rignoux, imprimeur. — (Cette thèse intéressante est suivie d'une liste des nombreux mémoires consultés par l'auteur dans les *Annales d'hygiène publique et de médecine légale*).

Rapport de la commission chargée d'examiner les projets présentés pour le chauffage et la ventilation du Théâtre-Lyrique et du théâtre du Cirque impérial, général Morin rapporteur. — 1 vol. in-8° (22 mai 1861).

Étude sur les hôpitaux, considérés sous le rapport de leur construction, de la distribution de leurs bâtiments, de l'ameublement, de l'hygiène et du service des salles de malades, par Armand Husson. — 1 vol. in-4°, Paris, 1862, Paul Dupont. (Voir, à la table des matières de cette *Étude*, les mots *Latrines* et *Ventilation* et les passages du texte qui s'y rapportent).

Études sur la ventilation, par le général Arthur Morin. — 2 vol. in-8°, 1863, Hachette et Cie.

Exposition universelle de 1867, à Paris. — Rapports du Jury international publiés sous la direction de M. Michel Chevalier. — Tome VIIIe, groupe VI, classes 47 à 52, 1 vol. in-8°, 1868, Paris, imprimerie Paul Dupont. (Voir *Assainissement des fosses*, par M. Dumas, p. 234, et *Ventilation du palais*, par M. d'Ussel.)

RAPPORT D'UNE SOUS-COMMISSION SPÉCIALE

Sur les projets présentés et sur les moyens employés pour assainir les sous-sols par des procédés de ventilation.

I. — Exposé.

Messieurs,

Vous avez renvoyé à l'examen d'une Sous-Commission spéciale (*) les projets d'assainissement des Halles par voie de ventilation présentés à l'Administration.

(*) Les membres de cette Sous-Commission étaient : MM. le Dr Poggiale, les ingénieurs en chef Vaissière et Rousselle, Magne, L. Vée, Radigon, Paliard de Béthune.

Vous avez donné pour mission à votre Sous-Commission de vous rendre compte de ces projets et d'étudier les moyens les plus propres à assurer l'assainissement des sous-sols.

Elle vient vous soumettre le résultat de ses travaux.

Nous vous rappellerons d'abord, qu'avant la formation de la Commission, l'Administration avait reçu un grand nombre de propositions et de projets plus ou moins sérieux. Nous avons reconnu la nécessité de faire un nouvel appel aux auteurs de ces projets et de leur demander une étude spéciale de l'application de leur système à un pavillon des Halles. Nous leur avons réclamé une note détaillée avec plans et dessins à l'appui.

Trois projets seulement nous sont parvenus dans ces conditions.

Ce sont ceux :

De MM. Nézeraux et Garlandat;

De MM. Geneste et Herscher;

Et de M. d'Hamelincourt.

Nous dirons d'abord en quoi ils consistent :

1° *Projet Nézeraux et Garlandat.* — Le projet de MM. Nézeraux et Garlandat a été étudié spécialement en vue de la ventilation et de l'assainissement du sous-sol du pavillon n° 11.

Les auteurs du projet proposent l'emploi d'un appareil de leur invention, destiné à purifier l'air et connu sous le nom de *Rafraîchisseur*. Le volume d'air passant par cet appareil serait de 24.000 mètres cubes par heure. L'air vicié du sous-sol, mis en mouvement par un ventilateur, traverserait environ dix fois le rafraîchisseur par journée de douze heures.

Dans la disposition d'ensemble qui a été soumise à la Sous-Commission, les appareils d'épuration et de ventilation sont établis hors du sous-sol, dans une galerie voisine, au-dessous de la rue, à l'ouest du pavillon. Le ventilateur, mû par une machine à vapeur, aspire l'air de la cave, le refoule dans le rafraîchisseur, où il passe au travers d'une plaque perforée et d'une couche d'eau pour retourner ensuite dans le sous-sol, après avoir été rafraîchi et dépouillé notamment de l'acide carbonique qu'il contient.

Les bouches d'aspiration sont réparties sur une conduite régnant sur un des côtés du pavillon, à la hauteur du plafond. Les bouches de refoulement sont placées en face des bouches d'aspiration, de l'autre côté du pavillon. Les deux conduites d'aspiration et de refoulement sont reliées aux deux orifices correspondants du ventilateur.

L'air assaini, arrivant par les ouvertures de refoulement de l'appareil, est projeté vers le plafond; il descend lentement vers le sol et, par un courant continu de 4 mètres par minute, il parcourt la cave dans toute sa largeur pour arriver au côté opposé. Il est alors entraîné dans la galerie d'aspiration pour repasser de nouveau dans le rafraîchisseur.

Un déplacement d'air de 20 000 mètres cubes par heure, continuellement épuré par le passage dans le rafraîchisseur, suffirait, d'après les auteurs du projet, à entraîner et à détruire tous les éléments insalubres de la cave et, selon eux aussi, l'air extérieur, généralement plus chaud et moins dense que celui des caves, n'aurait aucune tendance à entrer dans le sous-sol par les baies ouvertes des escaliers.

MM. Nézeraux et Garlandat remarquent que l'appareil pourrait être combiné de façon à servir à deux pavillons voisins dans lesquels il opérerait alternativement tout en les assainissant simultanément.

2° *Projet d'Hamelincourt.* — Le projet présenté par M. d'Hamelincourt a pour objet principal l'utilisation de la chaleur développée par les becs de gaz servant à l'éclairage du sous-sol, pour produire l'appel nécessaire au renouvellement de l'air de la cave.

L'auteur du projet ne modifie pas les brûleurs. Il envoie les gaz provenant de la combustion dans les cheminées d'appel au moyen d'une canalisation spéciale. Il se sert de la même canalisation pour aspirer l'air vicié.

Les becs de gaz sont surmontés d'un chapeau en forme d'entonnoir renversé, destiné à recueillir les produits de la combustion. Le chapeau est terminé à sa partie supérieure par un tuyau de petit diamètre relié aux cheminées d'appel.

L'installation des conduites d'appel comprend un réseau de tuyaux collecteurs horizontaux de grande section. Ces tuyaux sont suspendus à l'intrados des voûtes, et aboutissent aux anciennes cheminées, qui conservent leur rôle actif.

Chacune des colonnes de la charpente est entourée d'une gaîne en tôle mince d'un diamètre plus grand que celui de la colonne. La partie supérieure du conduit annulaire ainsi formé est mise en communication avec les collecteurs. La partie inférieure reste ouverte et sert de bouche d'appel.

Le pavillon n° 11 compte 35 becs, consommant ensemble 4 500 litres de gaz à l'heure. La chaleur produite par la combustion de

ces 4 500 litres de gaz serait suffisante, d'après M. d'Hamelincourt, pour opérer l'appel d'un volume d'air d'environ 7 500 mètres cubes. L'air serait renouvelé toutes les heures.

M. d'Hamelincourt évalue les dépenses nécessitées par l'installation de la canalisation dans un pavillon à la somme de 11 571 fr.

3° *Projet Geneste fils et Herscher.* — MM. Geneste fils et Herscher proposent un système de ventilation par appel.

L'appel est produit au moyen de jets d'air comprimé, lancés à la base des cheminées d'appel, suivant le système Piarron de Mondésir adopté pour la ventilation du palais de l'exposition, en 1867.

Les auteurs du projet font d'abord observer que, les gaz méphitiques étant, en général, plus lourds que l'air pur, les bouches d'aspiration doivent, autant que possible, être placées au niveau du sol des caves. Ces bouches sont reliées aux cheminées existantes par une canalisation spéciale.

Dans le projet présenté pour l'installation du système dans le pavillon n° 4, les conduits d'aspiration se divisent en deux réseaux : le premier est formé d'une conduite unique reliant deux des cheminées existantes. Il dessert exclusivement les tables d'abatage. Le second embrasse la partie restante du sous-sol. Il se compose d'un collecteur principal et de tuyaux de branchement reliant les bouches réparties à la surface du sol de la cave avec les cheminées d'appel. Ces conduites et ces tuyaux sont placés au-dessous du niveau du sol.

Dans cette disposition l'air pur, sous l'influence de l'appel des cheminées, entre par les portes, les fenêtres et les ouvertures des escaliers. Il se dirige ensuite vers les bouches d'appel en entraînant sur son passage les produits impurs, et il est finalement évacué par les cheminées.

Une machine à vapeur de 6 à 8 chevaux placée soit au rez-de-chaussée du pavillon, soit dans une des dépendances du sous-sol, met en mouvement une pompe à air destinée à alimenter les injecteurs placés dans l'axe des quatre cheminées.

MM. Geneste fils et Herscher déclarent que, par les moyens qu'ils proposent, on pourrait produire dans les cheminées un courant d'air ayant une vitesse de 3 à 4 mètres par seconde. Cette vitesse correspond à un débit de 35 000 à 45 000 mètres cubes par heure.

On pourrait éventuellement utiliser la vapeur d'échappement de la machine à vapeur au chauffage du sous-sol.

Les auteurs du projet ont étudié les types qu'il faudrait adop-

ter pour les conduites, suivant que celles-ci seraient placées en contre-bas du sol, sur le sol, ou au-dessus du sol et suspendues aux voûtes. Ils ont étudié également un modèle de borne en fonte à placer au dessus des ouvertures d'appel, afin d'éviter que les conduites ne s'obstruent par les poussières et les débris de toute nature, ou ne soient envahis par les eaux.

En terminant, MM. Geneste fils et Herscher font observer que l'exécution de leur projet n'entraverait en rien le service des Halles et qu'elle se ferait rapidement et à peu de frais.

II. — Examen et discussion des projets présentés.

La Sous-Commission a examiné ces projets.

Deux objections, dont une capitale, peuvent être faites au projet Nézeraux et Garlandat.

Le système de circulation qu'ils indiquent repose sur le double principe de l'appel et de l'insufflation.

En premier lieu, malgré l'avis contraire des auteurs du projet, il n'est pas douteux que, pour assurer le fonctionnement de leur système, il serait nécessaire de clore habituellement les ouvertures qui font communiquer le sous-sol avec l'extérieur. Il serait indispensable en particulier de fermer les entrées des escaliers. Cette mesure occasionnerait une gêne sérieuse dans le service.

En second lieu, la Sous-Commission a été d'avis qu'un simple lavage à l'eau dans le rafraîchisseur ne pourrait suffire pour transformer en air pur l'air vicié sortant des sous-sols. Après avoir traversé cet appareil, l'air retiendrait encore les vapeurs, les gaz et les miasmes organiques insolubles dans l'eau, et il conserverait certainement une odeur sensible.

Il n'y a d'ailleurs aucun intérêt à chercher à purifier l'air vicié au moyen d'un appareil spécial, quand il est facile de l'évacuer d'une manière définitive et de le remplacer par de l'air pur pris à l'extérieur.

Le projet de MM. Geneste fils et Herscher est étudié avec soin.

Les auteurs ont adopté le système de ventilation par appel. Les baies des escaliers peuvent, par suite, rester ouvertes sans inconvénient, et le service des sous-sols ne subirait aucun trouble pour l'adoption du projet.

En plaçant les bouches d'appel au niveau du sol, elles seraient aussi près que possible des points d'infection, et l'air vicié se trouverait ainsi soumis à l'aspiration en un point où les vapeurs

et les gaz insalubres afflueraient naturellement en raison de leur densité.

D'autre part, les emplacements proposés pour les bouches d'appel sont mal choisis; il faudrait les modifier pour assurer d'une manière plus complète le renouvellement de l'air.

Les auteurs du projet ont étudié, avec soin et intelligence, les dispositions à donner aux conduites et aux bouches, dans le but de les mettre à l'abri des eaux et des obstructions.

Nous discuterons plus loin et par comparaison le système spécial proposé par MM. Geneste et Herscher pour produire l'appel dans les cheminées d'évacuation.

M. d'Hamelincourt s'est proposé d'utiliser la chaleur produite par les becs d'éclairage pour échauffer les cheminées d'évacuation et produire l'appel.

Ces becs brûlent 4 500 litres de gaz à l'heure. D'après M. d'Hamelincourt, l'évacuation d'air vicié correspondante serait de 7 000 mètres cubes à l'heure. Mais, des expériences faites par la Sous-Commission, il résulte que l'auteur du projet a adopté pour base de ses calculs une donnée inapplicable au cas spécial qui nous intéresse. L'évacuation produite par la combustion de 4 500 litres de gaz brûlé à l'intérieur d'une cheminée ne peut être évaluée qu'à 4 500 mètres cubes. Pour tenir compte du refroidissement qui s'opérerait forcément dans les conduites entre le foyer de combustion et la cheminée, il faudrait compter qu'on n'obtiendrait seulement qu'une évacuation de 2 000 à 2 500 mètres cubes à l'heure.

La disposition étudiée par M. d'Hamelincourt avait été également proposée par un membre de la Sous-Commission comme un moyen accessoire de produire l'appel. Dans cette limite, il pourrait être utilisé avec avantage, mais il faudrait nécessairement employer un procédé plus énergique pour produire l'appel principal.

M. d'Hamelincourt, comme MM. Geneste fils et Herscher, propose de prendre l'air vicié dans la partie basse des sous-sols, le plus près possible des foyers d'infection. Le principe est bon, mais la disposition qu'il indique pour l'établissement des conduites est compliquée et n'est pas admissible au point de vue architectural.

Remarquons enfin que, dans ce projet, le nombre des bouches d'appel est très-multiplié, et qu'il serait, par suite, à peu près impossible d'arriver à régler l'écoulement d'une manière égale entre ces ouvertures.

III. — Expériences de la Sous-Commission.

A la suite de cette discussion, la Sous-Commission a reconnu la nécessité de procéder à des expériences directes, pour constater la puissance de ventilation des cheminées existantes et pour déterminer le prix de revient de l'appel fait au moyen de la combustion du gaz dans ces cheminées.

Les expériences ont été faites sur une des cheminées du pavillon n° 11. Cette cheminée prenait naissance dans le sous-sol à la hauteur du plafond. Afin de profiter de toute la hauteur disponible, elle a été descendue, et, par les nouvelles dispositions prises, son orifice inférieur s'est trouvé placé à 0m,60 seulement au-dessus du niveau du dallage.

Un appareil à gaz composé de deux couronnes concentriques, contenant 33 becs dans un plan horizontal, a été placé à 0m,20 au-dessus de l'orifice inférieur de la cheminée. Cet appareil a été muni des robinets nécessaires pour allumer à volonté 17 becs ou 33 becs à la fois.

Un compteur à gaz a été installé pour mesurer la dépense.

Enfin des thermomètres ont été placés : au rez-de-chaussée des pavillons pour constater la température extérieure ; en divers points du sous-sol pour constater la température intérieure, et à l'intérieur de la cheminée, à 8 mètres environ au-dessus de l'orifice inférieur, pour obtenir la température de l'air évacué.

Le Conservatoire des arts et métiers a bien voulu mettre à la disposition de la Sous-Commission les instruments nécessaires aux expériences.

Ces expériences ont eu lieu les 11 et 12 février, par une température assez basse (+1 degré), mais, les dispositions restant prises, elles pourront être répétées par une température plus élevée.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Débit des cheminées d'appel des Halles centrales chauffées au moyen du gaz.

1° *Données.*

Les expériences ont été faites sur la cheminée du pavillon n° 11, placée à l'angle de la rue de Rambuteau et de la rue intérieure transversale.

Hauteur de la cheminée. 19m,80
Section à 8 mètres au-dessus du niveau du sol des caves. . . . 1mq,434

Nombre de becs des couronnes intérieures de l'appareil à gaz. 17
Nombre de becs de la couronne extérieure. 16
Nombre total des becs à gaz. 33

Formule de l'anémomètre $V = 0^m,119 + 0^m,1135 \times n$. ($V$, vitesse du courant exprimée en mètres; n, nombre des tours de l'instrument par seconde; $0^m,119$ et $0^m,1135$ étant des constantes.)

2° Consommation de gaz.

Avec 17 becs (moyenne de quatre expériences) 1 mètre cube a été brûlé en. . . . . 20′ 2″
La consommation moyenne à l'heure a été, par suite, de. . . . $2^{mcb},998$
Avec 34 becs (moyenne de quatre expériences) 1 mètre cube a été brûlé en. . . . . 12′ 27″
La consommation moyenne à l'heure a été, par suite, de. . . . $4^{mcb},819$

3° Échauffement de la cheminée.

Avant l'allumage.

	EXPÉRIENCES du 11 février.	du 12 février.
La température extérieure était de.	1°	−0°,5
La température des sous-sols était de.	5 ,5	4,5
Différences.	4 ,5	5

Expériences avec 17 becs.

	EXPÉRIENCES du 11 février.	du 12 février.
Température initiale de la cheminée.	5°,5	4°
Température de régime après allumage.	11 ,5	10,5
Échauffement produit.	6	6,5
Échauffement produit en moyenne.	6°,25	
La consommation de gaz étant de $2^{mcb},998$, l'échauffement par mètre cube de gaz brûlé a été de.	2°,08	

Expériences avec 33 becs.

Température initiale de la cheminée.	5°,5	4°
Température de régime après allumage.	15 ,5	14,5
Échauffement produit.	10	10,5
Échauffement produit en moyenne.	10°,25	
La consommation de gaz étant de $4^{mcb},819$, l'échauffement par mètre de gaz brûlé a été de.	2°,12	

4° Débit de la cheminée.

	Vitesse par 1″.	Volume débité en 1″.	Volume par heure pour 1 cheminée.	Volume par heure pour 4 cheminées.
	mètres.	m. cub.	m. cub.	m. cub.
Avant l'allumage. . . (Diff. 4°.). . .	0,533	0,793	2 854	11 416
Allumage de 17 becs. (Diff. 6°,25). .	1,067	1,529	5 506	22 024
Allumage à 33 becs. (Diff. 10°,25).	1,323	1,897	6 829	27 314

5° Ventilation produite par la combustion d'un mètre cube de gaz.

Expériences avec 17 becs consommant en moyenne 2^{mcb},998.

	m. cub.
Volume total débité à l'heure	5 506,56
Ventilation naturelle	2 854,80
Différence due au chauffage	2 651,76
Ventilation produite par mètre cube de gaz brûlé	851

Expériences avec 33 becs consommant en moyenne 4^{mcb},819.

	m. cub.
Volume total débité à l'heure	6 829,2
Ventilation naturelle	2 854,2
Différence due au chauffage	3 974,4
Ventilation produite par mètre cube de gaz brûlé	824,73

En résumé, la combustion d'un mètre cube de gaz a produit en moyenne une élévation de température de 2°,1 dans la cheminée et un débit de 837 mètres cubes à l'heure.

La cheminée du pavillon n° 11 est munie, à sa partie supérieure, d'un appareil Nouaillier qui entrave le mouvement des gaz à la sortie; il y aurait lieu de remplacer cet appareil par un simple chapeau placé à 80 centimètres ou 1 mètre au-dessus de l'ouverture supérieure. Par cette modification, le débit serait certainement porté à 1 000 mètres par mètre cube de gaz brûlé, suivant la donnée généralement adoptée, que les expériences de la Sous-Commission confirment.

IV. — Moyens a employer pour assainir les sous-sols des pavillons des halles par les procédés de ventilation.

Après vous avoir rendu compte des travaux préliminaires de la Sous-Commission, nous avons à vous faire connaître quels sont, à son avis, les moyens les plus propres à opérer l'assainissement des sous-sols des Halles par voie de ventilation.

Quantité d'air nécessaire à la ventilation. — Le sous-sol du pavillon n° 11 a une surface de 2 226 mètres carrés et un volume de 7 000 à 7 500 mètres cubes.

D'après M. d'Hamelincourt, les cheminées d'appel devraient débiter 7 000 à 7 500 mètres cubes à l'heure pour opérer l'assainissement complet du sous-sol.

MM. Geneste fils et Herscher estiment d'autre part que, pour arriver à ce résultat, il faudrait doubler le débit des cheminées existantes. Ils évaluent ce débit à 20 mètres cubes et proposent, en conséquence, de le porter à 40 mètres cubes à l'heure.

Mais les cheminées de ventilation ne sont actuellement échauffées que par quelques becs de gaz placés à la partie inférieure et par une couronne de becs placée à la partie supérieure. Contrairement à l'opinion exprimée par MM. Geneste fils et Herscher, leur débit moyen ne s'élève pas à plus de 16 à 17 000 mètres cubes, et le double de ce débit à 32 ou 35 000 mètres cubes d'air à l'heure.

La Sous-Commission estime que la vérité se trouve entre les estimations de M. d'Hamelincourt (7 500 mètres cubes) et celles de MM. Geneste fils et Herscher rectifiées (32 à 35 000 mètres cubes), et qu'en opérant, *dans de bonnes conditions de répartition*, un renouvellement d'air de 20 à 22 000 mètres cubes à l'heure correspondant à trois fois la capacité du sous-sol et à une vitesse d'écoulement de 1 mètre par seconde dans les cheminées, on obtiendra un résultat complet au point de vue de l'assainissement.

Le résultat est d'autant plus assuré que les procédés d'assainissement par voie de ventilation ne sont pas les seuls conseillés par la Commission, et qu'en réformant le service des eaux, qu'en employant dans des cas spéciaux les désinfectants chimiques, qu'en assurant l'exécution régulière et complète des ordonnances concernant la police des marchés, l'état de choses actuel sera déjà profondément amélioré.

Choix du procédé de ventilation. — La Commission avait à choisir entre le procédé de ventilation par appel et celui par insufflation.

Pour assurer la ventilation d'un local par insufflation, il faut que, par la disposition même des orifices d'entrée et de sortie, l'air insufflé soit obligé de suivre un trajet déterminé, de sorte que tous les points de l'espace à ventiler soient traversés par un courant d'air pur qui les assainit. Si l'air pur insufflé rencontre une ouverture accidentelle sur son passage, il s'échappe, et l'air vicié reste stagnant dans la partie du local comprise entre cette ouverture accidentelle et l'orifice disposé pour la sortie.

Il est, par suite, nécessaire d'éviter les ouvertures dans les locaux ventilés par insufflation, et de les tenir hermétiquement clos.

Dans le sous-sol des Halles, les baies d'entrée doivent rester continuellement ouvertes pour les besoins du service. La Sous-Commission a dû, par suite, écarter les procédés de ventilation par insufflation, et étudier les moyens de ventilation par appel.

Ce système a le sérieux avantage de permettre de compléter

l'action de l'appel principal par des appels accessoires, qui peuvent être facilement produits, en un point donné, en mettant à profit les dispositions des lieux. Ainsi, dans un endroit plus spécialement infecté, il suffira quelquefois de pratiquer une ouverture au-dessus d'un des becs de gaz pour obtenir immédiatement un écoulement d'air vicié à l'extérieur. Une telle disposition peut être d'une grande utilité dans un cas particulier.

La Sous-Commission propose d'adopter le mode de ventilation par appel pour la ventilation du sous-sol des Halles.

Établissement des conduites et des bouches d'appel. — Nous n'avons point à indiquer ici les détails de construction des conduites et des bouches d'appel. C'est une question dont l'étude doit être réservée au service d'architecture.

Nous avons, d'ailleurs, déjà signalé à la Commission les études de MM. Geneste fils et Herscher, qui nous ont paru heureuses.

Rappelons seulement que, pour éviter la dispersion des miasmes insalubres, il est nécessaire de placer les bouches d'appel dans la partie basse du sous-sol et aussi près que possible du foyer d'infection. Enfin, sans proposer de répartir un nombre déterminé de bouches d'appel sur la surface du sous-sol, sans fixer l'emplacement de ces bouches, questions qui feront, s'il y a lieu, l'objet d'une étude spéciale, la Sous-Commission pose ce principe que les bouches d'appel devront être en nombre suffisant et qu'elles seront placées dans des emplacements tels que, dans tous les points du sous-sol, l'air vicié soit entraîné par un courant d'air pur entrant par une des ouvertures de l'édifice, porte, fenêtre, etc., et se dirigeant vers une bouche d'appel.

Choix du mode d'appel. — L'air peut être mis en mouvement dans les cheminées :

Par l'emploi des foyers d'appel;

Par l'emploi des ventilateurs aspirants;

Par l'emploi de procédés spéciaux tels que celui de M. Piarron de Mondésir, proposé par MM. Geneste fils et Herscher.

Pour des raisons de sécurité publique, l'Administration a proscrit d'une manière complète, dans le périmètre des Halles, l'emploi des combustibles autres que le gaz. Ce sont donc des foyers d'appel au gaz qui devraient être employés pour la ventilation du sous sol. Leur emploi nous est de plus imposé par la nature de la construction des cheminées existantes, qui ne permettrait pas d'installer, sans danger d'incendie, des foyers alimentés par

un autre combustible. Les foyers à gaz sont d'ailleurs économiq[ues]. Leur établissement revient à un prix insignifiant, et le service [ne] nécessite aucune main-d'œuvre spéciale.

L'emploi des ventilateurs aspirants et celui du système Piarron de Mondésir nécessiteraient l'établissement d'une chaudière et d'une machine à vapeur, et, par suite, l'usage d'un foyer à la houille dans le périmètre des Halles, ce qui serait contraire aux prescriptions administratives. Les dépenses d'installation pour la fourniture des appareils et l'appropriation des locaux seraient nécessairement fort élevées. Malgré ces objections sérieuses, nous ferons la comparaison de ces systèmes entre eux et avec le procédé par foyer d'appel au gaz.

Si nous établissons d'abord la comparaison entre le système par ventilateurs et le système Piarron de Mondésir, l'avantage reste à ce dernier. En effet, les dépenses de combustible, d'entretien et de main-d'œuvre sont à peu près les mêmes dans les deux cas, mais les dépenses premières d'établissement seraient notablement plus élevées, si l'on employait des ventilateurs. Ce fait résulte de l'obligation d'établir un ventilateur spécial pour chaque cheminée, disposition qui nécessiterait ou la pose d'une transmission importante, ou, si l'on réunissait tous les ventilateurs dans la chambre des machines, l'établissement de conduites de grand diamètre entre la chambre des machines et les cheminées, conduites aussi coûteuses que la transmission elle-même.

Nous n'avons donc finalement à comparer que le système d'appel par foyer à gaz et le système Piarron de Mondésir. L'appel par foyer à gaz est préférable au point de vue de la facilité du service et de la sécurité. Voyons s'il garde l'avantage au point de vue économique.

Il résulte des expériences faites par la Sous-Commission que, dans des conditions favorables, un débit de 22 000 mètres cubes à l'heure peut être obtenu avec 12 mètres cubes de gaz, ce qui correspond à une dépense de 1f,80 (le prix du mètre cube de gaz étant de 15 centimes). Mais nous avons dit aussi qu'en élargissant et en modifiant les dispositions du débouché de la cheminée, on obtiendrait une meilleure utilisation de la chaleur produite par la combustion du gaz. Nous estimons que la dépense pourrait être ainsi réduite à 1f,20 l'heure.

Mais, d'autre part, comme, dans ce cas, l'action de la ventilation naturelle ne serait pas toujours aussi énergique qu'à l'époque où la Sous-Commission a fait ses expériences, nous nous contenterons de considérer comme un fait acquis que la dépense nécessaire

pour produire un appel de 22 000 mètres cubes à l'heure par l'emploi du gaz ne s'élèverait pas à 2 francs l'heure.

MM. Geneste et Herscher ont déclaré verbalement à la Commission qu'ils s'engageraient à ventiler à forfait le sous-sol moyennant le même prix de 2 francs l'heure. Ce prix pourrait même être réduit de 25 à 30 centimes si, au lieu d'une vitesse de 4 mètres par seconde dans les cheminées, il était reconnu, suivant les conclusions de la Sous-Commission, que la vitesse de 1m,00 à 1m,50 est suffisante. Mais, d'autre part, il faut faire entrer en compte les intérêts et l'amortissement des dépenses d'installation. La diminution de 25 ou 30 centimes serait plus que compensée par l'augmentation correspondante aux frais d'intérêts et d'amortissement, de sorte que l'appel par le gaz ressortirait finalement au même prix que l'appel par le système proposé par MM. Geneste fils et Herscher, et même à un prix inférieur, si l'on réglait la dépense de gaz d'après la température. L'administration pourrait profiter ainsi naturellement de toutes les variations atmosphériques favorables, avantage qui n'existerait pas avec le système Piarron de Mondésir exploité par un entrepreneur.

Ainsi :

Au point de vue de la facilité du service et au point de vue de l'économie, l'avantage reste incontestablement à l'emploi des foyers à gaz comme moyen d'appel.

V. — Résumé et conclusions.

En résumé, la Sous-Commission a reconnu qu'un renouvellement d'air de 21 000 à 22 000 mètres cubes à l'heure est suffisant pour assurer l'assainissement d'un sous-sol ;

Que le moyen de ventilation le plus convenable est celui par appel ;

Que l'appel peut être produit économiquement en établissant des foyers à gaz à la partie inférieure des cheminées existantes ;

Que les bouches d'appel doivent être placées dans la partie basse du sous-sol, le plus près possible des lieux infectés, et disposées de manière que l'air, en pénétrant par les ouvertures naturelles du sous-sol, balaye sur son passage tous les gaz méphitiques.

Le choix de l'emplacement des bouches d'appel devra faire l'objet d'une étude spéciale.

En conséquence de ce qui précède, la Sous-Commission propose l'exécution des travaux suivants :

Procéder immédiatement à l'installation d'appareils de ventila-tion dans le pavillon n° 11, où se trouvent les tables d'abatage.

Utiliser à cet effet les quatre cheminées d'appel existantes. Ces cheminées seront reliées entre elles deux par deux, au moyen de deux collecteurs horizontaux placés soit au-dessous du sol, soit au-dessus et aussi près que possible du niveau du sol. Sur l'un de ces collecteurs seront branchés les tuyaux destinés à assainir les tables d'abatage et le côté nord du sous-sol; sur l'autre collec-teur, il sera ouvert un certain nombre de bouches d'appel pour la ventilation de la partie sud du local à assainir.

Dans le cas où, après l'exécution de ces travaux, la partie cen-trale du sous-sol resterait infectée, on compléterait les dispo-sitions susindiquées par l'établissement de bouches d'appel en nombre suffisant, réparties à la surface même du sous-sol. Ces bouches seraient reliées aux collecteurs par une canalisation pla-cée en contre-bas du sol.

Afin d'éviter des dépenses en double emploi, il serait conve-nable de procéder immédiatement à la pose de ces dernières con-duites dans le cas où, pour une cause ou pour une autre, on se-rait amené à remanier le sol de la cave.

On utiliserait la chaleur produite par les becs d'éclairage au chauffage des cheminées d'appel. On conduirait à cet effet les produits de la combustion dans les cheminées, soit au moyen de tuyaux raccordés avec les conduites souterraines, soit, dans le cas où l'établissement de ces conduites serait différé, au moyen d'une petite canalisation spéciale raccordée directement avec les col-lecteurs.

Des dispositions analogues devraient être prises dans les autres pavillons qui seraient signalés comme infects dans le rapport général de la Commission.

Signé Léonce VÉE, *rapporteur.*

Note sur les résultats obtenus par le liquide désinfectant de MM. ROUSSEAU, fabricants de produits chimiques.

Au commencement du mois de décembre 1874, sur la recom-mandation de M. Lalanne, inspecteur général des ponts et chaus-sées, président de la Commission d'assainissement des Halles centrales, M. Rousseau, fabricant de produits chimiques, demeu-rant à Paris, rue des Écoles, n° 44, livra au magasin général de la 1re division de la voie publique (Direction des travaux de Paris)

10 litres environ d'un nouveau liquide désinfectant qui, par ordre de la Commission susnommée, fut immédiatement mis à l'essai dans le service du nettoiement des Halles.

Le liquide fourni par M. Rousseau paraît avoir pour base l'acide phénique très-étendu, auquel on aurait ajouté du sulfate de fer, de l'acide citrique, et peut-être quelques parties d'éther ou de chloroforme.

Les soins particuliers de nettoyage et de propreté employés aux Halles centrales consistant en enlèvements, balayages et lavages très-souvent répétés, la saison froide que nous traversons, le peu de marchandises susceptibles de mauvaise odeur ou de putréfaction apportées à la vente à cette époque de l'année, ont rendu assez difficile l'application du désinfectant soumis à l'essai.

Les expériences dont nous allons rendre compte ne sont donc pas absolument concluantes; elles constatent que le liquide produit par M. Rousseau est bon, supérieur même, dans certains cas, à tous les désinfectants que nous avons employés jusqu'alors; mais un jugement définitif sur ce point ne pourrait être porté qu'au moment des chaleurs, c'est-à-dire en mai ou en juin prochain.

Pour essayer soigneusement et sûrement le liquide : 1° nous avons recueilli dans des tinettes fermées des viandes, des débris de poissons et des vidures de volaille et de gibier, que nous avons laissé putréfier, et nous n'avons agi sur ces matières que lorsque la putréfaction était bien prononcée.

2° Nous avons agi dans un cabinet d'aisances établi dans le sous-sol du pavillon n° 4, cabinet qui a été signalé à MM. les membres de la Commission, et qui, en toute saison, donne beaucoup de mauvaise odeur ;

3° Et enfin nous avons opéré des lavages dans le sous-sol du pavillon n° 11 et dans certaines grandes gargouilles extérieures, notamment autour du pavillon n° 9.

Partout et toujours la désinfection obtenue a été instantanée, complète et très-persistante.

Le liquide désinfectant a été employé au 1/10e et au 1/12e comme l'avaient recommandé M. l'inspecteur général Lalanne et l'inventeur M. Rousseau.

Dans les viandes et poissons corrompus, les débris de volaille, gibier, etc., la désinfection a été parfaite et absolument instantanée. Une quantité du liquide, coupé comme nous venons de le dire et de la moitié environ du volume de la matière à désinfecter, a été versée sur les débris putréfiés. A l'odeur absolument insup-

portable que donnaient ces résidus a été immédiatement substituée une odeur agréable d'acide citrique et d'éther; cette odeur a duré trois jours environ, puis, pendant trois autres jours, l'odeur de l'acide phénique, mais faible et très-supportable, a dominé. Après huit jours, quoique les matières désinfectées aient été remuées tous les jours, les produits conservés ne donnaient encore aucune odeur désagréable.

Ce résultat peut être considéré comme excellent, si l'on réfléchit que jamais, en aucune saison, les matières putréfiées recueillies dans les Halles ne sont gardées vingt-quatre heures sans être enlevées et portées en voirie; il prouve que, même en voirie, les matières enlevées ne sentiront pas mauvais, ce qui sera une grande amélioration au point de vue de l'hygiène générale.

Dans les lavages, soit de cabinets d'aisances, soit de points où avaient séjourné du sang d'animaux ou des matières susceptibles de putréfaction, le résultat a été le même : partout désinfection instantanée, substitution d'une odeur agréable à celle qu'on voulait combattre, et durée de cet état de choses pendant plus de vingt-quatre heures sans réaction, quelle que soit l'intensité première de la mauvaise odeur.

Nous n'avons jamais pu obtenir de résultats semblables avec les produits employés dans le service jusqu'à présent.

Certainement l'acide phénique et le chlorure de chaux supprimaient bien la mauvaise odeur, mais on n'obtenait un résultat suffisant qu'en employant ces produits à forte dose, c'est-à-dire en substituant à l'odeur qu'on voulait faire disparaître une odeur assez désagréable, très-persistante, et peut-être dans certains cas, et notamment dans des endroits clos, nuisible à la santé.

A l'aide des sulfates de zinc et de fer nous obtenions l'annulation de la mauvaise odeur, mais cette annulation était bien moins vive et bien moins persistante qu'avec le produit nouveau. Il aurait fallu, pour obtenir huit jours de désinfection complète, répéter l'opération tous les deux jours au moins, de sorte que les objets désinfectés avec les sulfates avaient besoin d'être enlevés vite et d'être portés loin en voirie et dans des vases bien clos.

Au point de vue de la dépense, l'emploi du produit Rousseau n'est pas plus onéreux que celui de nos produits actuels; dans certains cas, cet emploi est même économique, puisque la durée de la désinfection persiste beaucoup plus longtemps.

En résumé, le produit expérimenté est bon, et nous demandons à être autorisé à continuer son emploi dans le service, à la condition que M. Rousseau le fournira toujours d'une qualité égale à

l'échantillon expérimenté, et sous la réserve d'expériences plus concluantes faites au moment des grandes chaleurs, expériences qui pourront peut-être modifier un peu notre opinion actuelle et dont nous aurons l'honneur de rendre compte à l'Administration en temps opportun.

Paris, le 21 janvier 1875.

Le conducteur principal du nettoiement de la 1re section de la voie publique,
Signé **DEMONT.**

Composition du liquide désinfectant expérimenté aux Halles.

35 kilogrammes de chlorure de zinc, tel qu'il résulte de l'attaque du zinc par l'acide chlorhydrique.

15 kilogrammes de glycérine brute.

1 kilogramme d'acide phénique.

Mélange d'éther et essence pour aromatiser. — 1 000 litres d'eau.

Signé Émile **ROUSSEAU.**

Légende explicative des différents services concentrés dans les Halles centrales. (Voir la Pl. 12.)

- **Pavillon 3.**
  - Rez-de-chaussée.
    - Moitié nord. — Vente au détail de la boucherie.
    - Moitié sud. — Vente à la criée des viandes de boucherie et charcuterie.
  - Sous-sol.
    - Moitié nord. — Resserres des détaillants.
    - Moitié sud.
      - Resserres de la vente en gros.
      - Resserres des viandes saisies.
      - Resserres de la Préfecture de police.
- **Pavillon 4.**
  - Rez-de-chaussée. Vente en gros de la volaille et du gibier.
  - Sous-sol. Resserres et tuerie de la volaille.
- **Pavillon 5.**
  - Rez-de-chaussée.
    - Moitié nord. — Vente au détail de la charcuterie, de la triperie et des issues.
    - Moitié sud.
      - Vente en gros à l'amiable des viandes de boucherie et de charcuterie.
      - Vente en gros de la triperie.
  - Sous-sol.
    - Atelier de la mannerie du marché à la vente en gros du poisson.
    - Atelier de la triperie.
    - Resserres des détaillants.
    - Resserre du marché à la vente en gros des viandes.
- **Pavillon 6.**
  - Rez-de-chaussée. Vente en gros, à la criée et à l'amiable, des fruits et des légumes.
  - Sous-sol.
    - Resserre publique.
    - Resserre des facteurs.
    - Resserre de l'administration de l'assistance publique.

Pavillon 7. .	Rez-de-chaussée.	Vente au détail des fleurs et des fruits.
	Sous-sol.	Resserres des détaillants.
Pavillon 8. .	Rez-de-chaussée.	Vente au détail des légumes.
	Sous-sol.	Resserres des détaillants.
Pavillon 9. .	Rez-de-chaussée.	Vente en gros et en détail du poisson. — Vente au détail des huîtres.
	Sous-sol.	Bassins et resserres des détaillants. Resserres de la vente en gros du poisson.
Pavillon 10.	Rez-de-chaussée.	Vente en gros des beurres, des œufs et des fromages.
	Sous-sol.	Resserres des facteurs à la vente en gros. — Mirage des œufs.
Pavillon 11.	Rez-de-chaussée.	Vente au détail de la volaille et du gibier. Vente au détail des fruits et des légumes.
	Sous-sol.	Tuerie pour la volaille. Resserres des détaillants de volaille. Resserres des détaillants de fruits et de légumes.
Pavillon 12.	Rez-de-chaussée.	Vente au détail des beurres, des œufs et des fromages. Vente au détail des viandes cuites, de légumes, de pain, etc., etc. Vente en gros des huîtres.
	Sous-sol.	Resserres des détaillants de beurres, d'œufs et de fromages. Resserres des détaillants de viandes cuites. Resserres des détaillants de légumes. Ateliers pour le mirage des œufs. Ateliers pour le malaxage des beurres.
Pourtour des pavillons 7 et 8.		Vente aux petits tas.

N° 28

NOTICE

SUR

LA CONSTRUCTION ET LES PRIX DE REVIENT

DES CHEMINS SECONDAIRES

DE VALKANY A PERJAMOS ET DE VOJTEK A BOGSAN (HONGRIE)

Par M. FOURNIER, inspecteur général de la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État (*).

SOMMAIRE.

	Pages.
Considérations générales	604
I. Conditions spéciales des actes de concession des lignes secondaires	608
II. Ligne de Valkany a Perjamos :	
Date de l'ouverture. — Tracé. — Terrains. — Profil en long. — Alignements et courbes. — Terrassements et ouvrages d'art. — Voie et ballastage. — Bâtiments et divers. — Locomotives. — Dépenses.	609
Tableau général de toutes les dépenses faites	614
Tableaux indiquant les prix de revient des différentes parties du chemin	616

(*) Cette notice a été rédigée pour les *Annales* à l'instigation de M. Cézanne et sur la demande de M. Kopp, ingénieur des ponts et chaussées, Directeur de l'Exploitation de la Société autrichienne I. R. P. (*Impériale Royale Privilégiée*) des chemins de fer de l'État. Les deux chemins de fer qu'elle concerne ont été concédés à cette société. M. Fournier, auteur de la Notice, en a dirigé les travaux. — C'est à M. Kopp que paraît due surtout l'initiative de la construction de chemins de fer *économiques* dans certaines parties de la Hongrie qui n'en comportent pas d'autres.

Toutes les sommes qui figuraient dans le texte primitif ont été converties en francs à raison de 2f,50 par florin, suivant l'usage de la Société autrichienne I. R. P., sans tenir compte des variations que l'agio et le change font fréquemment subir à la valeur du florin.

E. M.

III. Ligne de Vojtek a Bogsan :

Indication sommaire des conditions d'exécution. . . . .
Tableau général de toutes les dépenses faites. . . . .
Tableaux indiquant le prix de revient des différentes parties du chemin. . . . .

IV. Tableau comparatif des dépenses des deux lignes. . . . .

V. Résultats généraux des deux lignes. . . . .
Observations sur les résultats généraux. . . . .

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Au moment où la question de l'établissement des chemins secondaires est de nouveau soumise partout à une étude approfondie, nous croyons qu'il peut être de quelque intérêt d'indiquer le mode suivi à cet égard en Hongrie, par la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État, qui vient de construire les deux lignes secondaires de Valkany à Perjamos et de Vojtek à Bogsan, venant s'embrancher sur la ligne principale du Sud-Est (Vienne-Pesth-Bazias).

Le partie du territoire hongrois desservie par cette ligne du Sud-Est, notamment celle comprise entre Pesth et Temesvar, est formée de plaines très-étendues, où le climat et la nature du sol sont très-favorables à la culture du blé et de la plus grande partie des céréales.

Sur tout ce parcours, les voies de communication sont dans un état de viabilité assez défectueux, et à l'exception des routes royales, qui sont rares, et de quelques routes provinciales qui ne desservent que les localités importantes, la circulation, difficile en été, devient à peu près impossible pendant la mauvaise saison.

Une des causes principales de cet état de choses est le prix élevé des matériaux d'empierrement de bonne qualité, qui varie de 10 à 15 francs par mètre cube. Les ressources du budget de l'État ou des comitats (provinces) sont insuf-

santes pour faire face aux frais d'un entretien normal ussi coûteux, et il est d'usage de faire les rechargements vec du sable ou du gravier terreux, qui ne tarde pas à disparaître dans l'épaisse couche de boue de la route.

Les produits agricoles destinés à l'exportation doivent onc être transportés aux stations de la voie ferrée pendant la courte période de saison sèche, comprise entre la fin des récoltes et l'entrée de l'hiver.

Durant ce temps, l'abondance des arrivages produit un nouvement très-actif dans les stations ; les emplacements e dépôts sont quelquefois insuffisants ; le matériel roulant, i chôme en partie aux autres époques de l'année, ne iffit plus à ces besoins exceptionnels, et le commerce ne anque pas d'élever des réclamations sur la négligence du emin de fer.

La nécessité de bonnes voies de communication aboutisnt à la voie principale est, pour cette contrée comme ur les chemins de fer, plus évidente que partout ailleurs. s matériaux d'empierrement étant en général trop coûax, et l'entretien des routes occasionnant des frais exortants, la création de voies ferrées transversales à bon arché, dans les parties les plus productives ou dans celles i il se trouve des éléments industriels susceptibles de éveloppement, paraît être la solution la plus économique conciliant le mieux tous les intérêts.

L'établissement de ces embranchements aurait pour conquence d'introduire une allure plus régulière dans le ouvement des marchandises, par suite de la possibilité de rculer au même prix en toute saison, et d'amener un croissement de produits et d'affaires commerciales sur ute la zone desservie par la ligne principale, se traduisant ar une augmentation de recettes.

L'intérêt de la Société autrichienne lui commande donc e prendre une part active au développement de ces lignes ransversales.

Quant aux populations appelées à jouir des bienfaits de ces embranchements, elles en ressentent l'impérieuse nécessité ; malheureusement leurs ressources limitées ne leur permettent pas d'apporter un concours bien efficace à leur construction. Ce concours s'est borné jusqu'à présent à la cession gratuite, par les communes et les particuliers, d'une partie des terrains et à quelques subventions insignifiantes.

Les sacrifices faits par les provinces tendent toutefois à devenir plus sérieux et, tout récemment, il a été proposé à la Société autrichienne de construire deux embranchements, moyennant une garantie d'intérêts au taux réduit de 5,2 p. 100 souscrite par l'administration provinciale. Cette nouvelle forme de coopération de la part des provinces est actuellement soumise à l'étude.

En ce qui touche l'État, le chiffre relativement élevé des subventions données aux grandes lignes, et la situation générale de ses finances, ne lui permettent pas de subventionner les lignes ne desservant que des intérêts locaux. Il a accordé ce qui pouvait être réclamé de lui, savoir : des simplifications importantes dans les conditions de construction et d'exploitation, et une exemption momentanée de taxes et d'impôts.

Malgré ces facilités, le manque d'industrie, l'absence de capitaux et l'état peu développé de l'esprit d'association et d'entreprise sont les motifs pour lesquels ces embranchements ne sont pas exécutés, comme dans d'autres pays, par des sociétés locales, et les grandes sociétés, possédant déjà les lignes de long parcours, sont seules en état de les entreprendre.

Deux circonstances d'ailleurs rendent possible l'exécution de quelques lignes de cette nature par la Société autrichienne : c'est d'abord la configuration favorable du terrain, et ensuite le prix élevé des transports sur les routes et chemins ordinaires, prix permettant de maintenir, sur les

chemins de fer secondaires, des tarifs assez élevés pour atteindre un chiffre de produit net suffisamment rémunérateur. On paye en moyenne pour les transports par route, de 0f,17 à 0f,20 par 50 kilogrammes et par mille, ce qui donne de 0f,45 à 0f,55 par tonne et par kilomètre.

Les trois classes de tarifs approuvés pour les lignes secondaires sont : 0f,05, 0f,07, 0f,10 par 50 kilogrammes et par mille, ce qui équivaut à 0f,135, 0f,19 et 0f,265 par tonne et par kilomètre.

La différence avec le prix de transport par route, par tonne kilométrique, varie de 0f,367 à 0f,492 pour la plus grande partie des transports, d'où il suit que l'économie réalisée par la contrée est de trois à quatre fois supérieure à la recette du chemin de fer. Ces tarifs pourraient donc, dans certains cas, être augmentés, pour permettre la réalisation, au point de vue financier, de lignes transversales réclamées à juste titre comme indispensables au développement de la prospérité du pays. Du reste, sur ces lignes de faible parcours, les tarifs élevés s'appliquant à de petites distances, ne grèvent pas beaucoup les marchandises destinées à l'exportation.

Sur les sollicitations des populations intéressées, la Société autrichienne a entrepris l'exécution des deux premières lignes secondaires de Valkany à Perjamos et de Vojtek à Bogsan, dont les longueurs sont respectivement de 43.353 mètres et de 47.367 mètres. Après mûr examen des frais de construction et d'exploitation, elle s'est décidée à maintenir pour ces lignes la largeur de voie normale, avec un rail léger et une plate-forme réduite à 4 mètres. Dans un terrain facile l'emploi de la voie étroite ne réduirait pas beaucoup la dépense, et il exigerait la création d'un matériel roulant spécial assez coûteux, ce que l'on tenait à éviter, afin d'employer sur les embranchements le vieux matériel de la grande ligne. Nous indiquons ci-après leur mode d'établissement.

I. — Conditions spéciales des actes de concession des lignes secondaires.

Les stipulations particulières introduites, sur la proposition de la Société autrichienne, dans les actes de concession des chemins secondaires en Hongrie, afin de réduire à leur minimum les dépenses de premier établissement, se résument principalement dans les points suivants :

1) Exonération des impôts et taxes pendant une durée de trente ans.

2) Diminution de largeur de la plate-forme de la voie et autorisation de construire, au gré de la Société, les ouvrages d'art en bois.

3) Réduction du poids du rail, des dimensions des traverses et de l'épaisseur du ballast.

4) Simplification des dispositions des gares et stations, tant pour les voies que pour les bâtiments.

5) Suppression de la plus grande partie des maisons de garde, de la surveillance des passages à niveau et des clôtures de la voie.

Par contre, la vitesse moyenne des trains a été limitée à $18^{k},75$ à l'heure. Cette restriction est la conséquence des facilités spéciales énumérées précédemment.

En dehors de l'exemption d'impôts, l'État n'a accordé aucune garantie d'intérêts aux chemins secondaires.

Les conditions libérales consenties par l'État pour la construction proprement dite étaient d'ailleurs impérieusement commandées par le chiffre limité des recettes prévues.

Dans la plus grande partie de la zone traversée par la ligne principale du Sud-Est, il y a très-peu d'industrie, les produits agricoles représentent la plus grande somme des marchandises que les lignes transversales sont appelées à transporter, et leur tonnage est d'une importance très-variable.

La circulation sur ces embranchements, établis dans des contrées dépourvues d'industrie, n'est susceptible que de progrès très-lents et très-limités. L'augmentation du trafic ne peut provenir que du développement industriel, et en général les éléments font défaut sous ce rapport.

Ce serait se faire illusion que d'espérer pour ces petites lignes des résultats analogues à ceux obtenus sur les grandes lignes, au point de vue des progrès du trafic.

Il est donc d'une nécessité absolue, sous peine de dépenser sans fruit des capitaux plus ou moins importants, d'observer dans la construction de ces lignes les règles de la plus stricte économie.

Les deux chemins de Valkany à Perjamos et de Vojtek à Bogsan, dont nous indiquerons plus loin les prix de revient, ont été établis d'après ces principes. Les indications que nous donnons n'offrent, il est vrai, aucun intérêt au point de vue technique : car il ne s'agit pas de solution donnée à des difficultés d'exécution, mais elles peuvent avoir leur utilité en faisant ressortir les prix très-réduits auxquels ces embranchements peuvent être établis, en profitant de toutes les facilités offertes par l'acte de concession et en s'écartant sensiblement des types de nos lignes principales.

II. — Ligne secondaire de Valkany à Perjamos.

INDICATION DES CONDITIONS PRINCIPALES D'ÉTABLISSEMENT.

Date de l'ouverture. — Les travaux de cette ligne, commencés dès le mois de mars 1870, ont été terminés dans une seule campagne, et l'ouverture à l'exploitation a pu avoir lieu le 26 octobre de la même année.

La longueur totale de la ligne est de 43.358 mètres.

Tracé. — Il se détache de la station de Valkany, située entre Szegedin et Temesvar (voir la carte, *fig.* 1, Pl. 13),

et se dirige vers Perjamos, en remontant la vallée de la Maros, sans toutefois traverser l'Aranka, bras mort de la Maros, qui sert de déversoir en temps d'inondation.

Sur tout ce parcours le terrain ne présente que des ondulations sans importance, et se trouve pour un tracé de chemin de fer dans des conditions très-favorables.

Les inflexions du tracé ont surtout été motivées par la condition, importante surtout pour les lignes secondaires, de rapprocher autant que possible les stations des localités à desservir. Ces stations sont au nombre de cinq, savoir : Bessenova, Sz. Miklos, Szaravola, Rácz Sz. Peter et Perjamos.

Sur quelques points il a été aussi nécessaire d'infléchir le tracé, afin de ne pas franchir inutilement l'Aranka. Ce cas s'est présenté notamment entre Szaravola et Rácz Sz. Peter.

Terrains. — Les terrains nécessaires pour la voie courante et les emplacements des stations ont été cédés gratuitement à la Société autrichienne par les communes traversées. La commune d'Egres seule a fait exception, à cause de son éloignement du tracé.

Sur la surface totale occupée, s'élevant à 114 hectares 79 ares, la Société n'a eu à acquérir que la partie située sur le territoire de cette commune et comprenant seulement 1 hectare 66 ares.

Cette acquisition n'a coûté que 3.075 francs, soit 1.852 francs par hectare.

La largeur moyenne des emprises est de $26^m,47$, y compris les emplacements des stations.

Profil en long. Alignements et courbes. — Les déclivités du profil sont presque nulles. La différence de niveau entre les deux extrémités de la ligne n'est que de $15^m,19$, ce qui donne une pente moyenne de $0^m,00035$. En réalité, la plus forte déclivité est de $0^m,0025$.

La configuration uniforme du terrain a permis de main-

tenir des alignements d'une grande longueur. Sur le développement total de de 43.353 mètres, les parties en courbe ne s'étendent que sur 4.336^m,19, soit sur 10 p. 100 du parcours total.

Les courbes sont au nombre de seize, dont dix de 1.000 mètres, deux de 600 mètres, deux de 500 mètres et deux de 400 mètres de rayon. Ces dernières ont été appliquées aux abords des stations, afin de placer celles-ci dans une situation avantageuse relativement aux localités qu'elles desservent.

Terrassements et ouvrages d'art. — Les dimensions du profil en travers prescrit par l'acte de concession sont indiquées sur les *fig.* 5 et 6.

La plate-forme a été maintenue en remblai sur tout le parcours. Cette condition, d'une réalisation facile dans un terrain aussi uniforme, a rendu l'exécution des terrassements économique et rapide, en permettant de les entreprendre simultanément sur toute la ligne, par voie d'emprunts latéraux et sans matériel spécial de transport.

La largeur d'emprise n'exerce ici aucune influence sur les prix d'exécution, puisque les terrains ont été cédés gratuitement.

Le cube total des terrassements s'est élevé à 197.000^m,13, soit en moyenne 4^m,545 par mètre courant.

Les travaux d'art sont sans importance. En voici le détail : sept ponceaux de 2 mètres, quatorze aqueducs de 1 mètre, onze aqueducs de 60 centimètres. Ces ouvrages ont été construits avec voûte en briques quand la hauteur du remblai était suffisante, sinon ils se composent de deux culées supportant des poutres en bois placées sous les rails.

Voie et ballastage. — Le poids du rail est, conformémément à l'acte de concession, de 25^k,30 par mètre courant (*). Dans ces dimensions sa résistance suffit pour le

(*) Les éclisses pèsent 3^k,50 l'une; les boulons 0^k,41 et les crampons 0^k,31.

passage des voitures et wagons de la ligne principale, ce qui dispense de créer un matériel spécial. Le rail en fer de la ligne principale pesant 37 kilogrammes, la réduction de poids est de $11^k,70$ par mètre courant, et représente une économie assez notable (*fig.* 2 et 3).

Les traverses ont aussi des dimensions plus faibles que celles de la ligne principale. Ces dimensions sont : $2^m,35$ de longueur, $0^m,13$ d'épaisseur et $0^m,22$ à $0^m,24$ de largeur.

Le ballast revient dans cette partie de la Hongrie à un prix relativement élevé, et il y avait intérêt à le réduire au plus strict nécessaire. Les dimensions adoptées de $2^m,80$ pour la largeur en couronne, et de $0^m,25$ pour l'épaisseur, donnent un cube de $0^m,76$ par mètre courant de voie simple, abstraction faite du volume des traverses.

Les détails relatifs à la superstructure sont indiqués dans un tableau séparé (page 624) et font ressortir le prix de revient total par mètre linéaire de chemin à $42^f,62$.

Bâtiments et divers. — Les installations des stations sont réduites à leur plus simple expression. Le type généralement employé est représenté (*fig.* 13) par le plan de la station de Gattaja.

La simplicité du mode de construction en usage dans la contrée traversée a permis d'appliquer des types extrêmement simples pour les bâtiments à voyageurs et les maisons de garde. Ces types sont indiqués par le dessin des *fig.* 17 et 18 pour les stations de Sz. Miklos et de Perjamos. Les hangars à marchandises sont en bois.

Deux petites remises de machines, avec logement (*fig.* 19) ont été établies aux stations extrêmes, avec des réservoirs d'alimentation (*fig.* 15 et 16). Il existe en outre une prise d'eau de réserve à la station de Sz. Miklos, située à peu près au milieu du parcours.

Locomotives. — Par suite de la réduction du poids du rail, on a dû créer, pour le service des lignes secondaires,

es locomotives spéciales dont le poids par essieu ne dé-asse pas sensiblement celui des essieux de wagons à archandises en pleine charge. Elles sont construites sans ender, à trois essieux accouplés, et portent leurs approvi-ionnements d'eau et de charbon dans des compartiments arallèles à la chaudière. A la vitesse ordinaire de 15 kilo-nètres fixée pour ce chemin, ces machines peuvent remor-quer un poids brut de 400 tonnes.

Ces machines sont au nombre de trois. Le prix de revient ar machine s'est élevé à 42.500 francs.

Dépenses. — On a indiqué dans les tableaux qui suivent es prix de revient que l'on fait habituellement ressortir dans les statistiqués des travaux neufs.

La dépense totale y compris les intérêts pendant la con-struction et 3 locomotives spéciale, s'élève à 2.743.567f,12, soit par kilomètre à 63.277f,05.

LIGNE DE VALKANY A PERJAMOS.

Tableau général de toutes les dépenses faites.

NATURE DES DÉPENSES.	DÉPENSES générales partielles.	DÉPENSES générales totales.	DÉPENSES kilométriques partielles.	DÉPENSES kilométriques totales.
	francs.	francs.	francs.	francs.
Frais généraux.				
Personnel, frais d'études, etc. . .	113.205,48	113.205,48	2.610,93	2.610,93
Mobilier d'exploitation.				
Mobilier des gares.	12.154,33	12.154,33	280,33	280,33
Acquisition de terrains.	18.423,13	18.423,13	424,93	424,93
Terrassements et ouvrages d'art.				
Travaux de terrassements. . . .	197.649,40	242.873,02	4.558,55	[illegible]
Ouvrages d'art.	45.223,62		1.013,02	
Ballastage.	143.091,07	143.091,07	3.300,22	3.300,22
Établissement des voies.				
Rails.	996.523,43	1.706.055,02	22.983,60	39.346,40
Autres matériaux métalliques. .	108.801,92		2.509,37	
Traverses, bois spéciaux, etc. . .	158.509,22		3.655,83	
Sabotage, pose des voies, transports.	382.974,52		8.832,85	
Croisements, changements, plaques tournantes.	48.192,33		1.111,50	
Divers.	11.053,60		254,95	
Bâtiments et accessoires.				
Stations.	202.056,37	380.265,07	4.660,30	8.770,35
Maisons de garde, barrières, etc.	58.549,10		1.350,38	
Télégraphe, signaux, etc.	21.007,12		484,50	
Constructions relatives aux alimentations d'eau.	89.633,95		2.067,30	
Divers.	9.018,53		207,87	
Matériel roulant.				
Trois locomotives spéciales. . . .	127.500,00	127.500,00	2.940,62	2.940,62
Totaux.		2.743.567,12	. . . . .	63.377,05

LIGNE DE VALKANY A PERJAMOS.

Acquisition de terrains.

INDICATION DES OBJETS.	TOTAUX.
ongueur du chemin	43.358m,00
ombre des communes traversées	8
uperficie des terrains achetés	1h,66a
— — reçus gratuitement	113 18
argeur moyenne des emprises	26m,47
ontant des indemnités payées	3.075f,00
rix moyen de 1 hectare acheté	1.852 ,50
épenses accessoires	15.348 ,12
épense totale	18.423 ,12
épense moyenne par hectare	160 ,47
épense moyenne par kilomètre	425 ,00

Terrassements et ouvrages d'art.

ÉSIGNATION.	DÉPENSES		TERRASSEMENTS.			OUVRAGES D'ART.		
			CUBE		PRIX			PRIX
	totales.	kilo-métri-ques.	total.	par mètre linéaire.	par mètre cube.	Nombre.	Somme des ouvertures.	par mètre d'ou-verture.
	francs.	francs.			fr.			francs.
errassements.	197.649,40	4.558,55	197.060,13	4,545	1,00	»	»	»
uvrages d'art.	45.223,62	1.043,02	»	»	»	32	36,00	1.256,20
Totaux. .	242.873,02	5.601,57	197.060,13	4,545	1,00	32	36,00	1.256,20

LIGNE DE VALKANY A PERJAMOS.

ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE.

I. — Longueur des voies posées.

	mètres.
1° Pour la voie unique du chemin.	43.358,00
2° Voies de garage dans les stations, y compris celles de la station d'embranchement à la charge du chemin secondaire.	3.927,00
Longueur totale.	47.285,00

Longueur des voies par mètre linéaire de chemin $\frac{47.285,00}{43.358,00}$ = 1,090.

II. — Prix d'un mètre linéaire de voie.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	PRIX.	DÉPENSES.	OBSERVATIONS.
Une travée de 7 mètres.		francs.	francs.	
Rails. . . . (2 × 7) × 25^{k},3 la tonne.	354,20	419,12	148,45	
Eclisses. . 4 × 3 ,5	14,00	419,12	5,87	
Boulons. . 8 × 0 ,41	3,28	852,50	2,80	
Crampons. 32 × 0 ,31	9,92	550,00	5,45	
Traverses non carbonisées. la pièce.	8,00	3,00	24,00	
Ensemble pour une longueur de 7 mètres. . . .			186,57	
Soit pour 1 mètre linéaire environ.			26.67	
Pose des voies, transports et divers accessoires.			8.13	
Ensemble.			34,80	
Et si l'on y ajoute le ballastage.			3.02	
On trouve le prix total du mètre linéaire de voie.				37,82
Ajoutant les dépenses pour changements de voie, plaques tournantes et divers.				1,2[illegible]
On trouve la dépense totale indiquée ci-après.				39,0[illegible]

III. — Dépense par mètre linéaire.

NATURE DES OUVRAGES.	DÉPENSE totale.	DÉPENSE par mètre linéaire		OBSERVATIONS.
		de chemin.	de voie.	
	francs.	francs.	francs.	
Ballastage.	143.091,07	3,30	3,02	
Etablissement des voies.	1.706.055,02	39,32	36,07	
Totaux.	1.849.146,09	42,62	39,09	

LIGNE DE VALKANY A PERJAMOS.

STATIONS.

Tableau des dépenses de toute nature.

DÉSIGNATION des stations.	DÉPENSES pour les diverses constructions.			DÉPENSES pour les voies de garage, matériel, etc.			DÉPENSES totales.
	Bâtiments pour le service des voyageurs.	Bâtiments pour le service des marchandises et divers.	Ensemble.	Doubles voies, changements, plaques tournantes, etc.	Matériel et mobilier.	Ensemble.	
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
…y. station d'embranchement, part …ributive.	29.995.00	42.432.55	72.427,55	63.498,40	1.340,00	64.838,40	137.265,95
…ova.	15 105.90	8.550,00	23.655,90	28.930,40	1.946,77	30.877,17	54.533.07
… Miklos.	21.090.00	58.352,32	79.442,32	38.674,25	2.378,25	41.052,50	120.494,82
…ola.	15.105,90	8.550.00	23.655,90	20.664,65	1.946,77	22.611,42	46.267,32
…ter.	15.105,90	8.550.00	23.655.90	16.444,25	1.946,77	18.391,02	42.046,92
…os.	21.090,00	56.776,27	77.866,27	51.722,32	2.595,75	54.318,07	132.184,34
Totaux.	117.492,70	183.211,14	300.703,84	219.934,27	12.154,31	232.088,58	532.792,42

…ans les dépenses afférentes à la station d'embranchement de Valkany est com-…se la participation aux dépenses de la ligne principale, s'élevant à 29.995 francs.

État des dépenses du matériel de la voie et des alimentations.

QUANTITÉS.	DÉSIGNATION DES OBJETS.	MONTANTS partiels.	MONTANTS totaux.	DÉPENSE par kilomètre de ligne.
	Matériel de voie.	francs.		
18	Changements (tang 0,128).	30.233,52		
2	Plaques tournantes, 4m,68 de diamètre.	17.958,80	francs.	francs.
			48.192,32	1.111,47
	Alimentations.			
3	Réservoirs à fond sphérique, de 6m,5 de diamètre.	20.283,08		
3	Pompes à vapeur de 2 chevaux.	24.188,47		
4	Grues hydrauliques.	4.147,80		
350 mètres.	De conduite d'eau de 105 millimètres de diamètre.	3.660,30		
	Robinets, bornes-fontaines, etc.	1.663,00		
3	Bâtiments d'alimentation de 64 mètres carrés, avec puits.	35.691,30		
			89.633.95	2.067,30
	Totaux.		137.826,27	3.178,77

III. — Ligne secondaire de Vojtek à Bogsan.

INDICATION SOMMAIRE DES CONDITIONS D'EXÉCUTION.

Cette ligne, d'une longueur de 47.367 mètres, a été construite d'après le même type que celle de Valkany à Perjamos dont nous venons de donner la description. Concédée à la Société autrichienne le 5 janvier 1873, elle a été ouverte à l'exploitation le 5 septembre 1874.

En dehors de la station d'embranchement de Vojtek, les stations de cette ligne sont au nombre de six, savoir : Gattaya, Moritzfeld, Gyertenies, Zsidorin, Roman-Bogsan et Deutsch-Bogsan.

Tout en desservant les intérêts agricoles et industriels de la contrée traversée, cet embranchement a eu aussi pour but, par sa jonction à Deutsch-Bogsan avec le chemin de mines de Reschitza à Eisenstein, de mettre les usines importantes de Reschitza en communication non interrompue, par voie ferrée, avec la ligne principale. (Voir *fig.* 14 le plan de la station commune de D. Bogsan.)

De même que pour la ligne de Valkany à Perjamos, une partie des terrains a été cédée gratuitement, et le rayon minimum des courbes a pu être maintenu à 400 mètres; mais par suite de la configuration plus accidentée du terrain, les déclivités sont plus fortes, sans toutefois dépasser $0^m,008$; le mouvement des terres est plus considérable et le nombre des ouvrages d'art plus grand. Nous citerons notamment parmi ces derniers le pont en bois de la Bersava, de 48 mètres de débouché. (Voir les *fig.* 8, 9, 10, 11 et 12.)

Les tableaux suivants, analogues à ceux de la première ligne, indiquent les résultats obtenus dans l'établissement de celle de Vojtek à Bogsan.

LIGNE DE VOJTEK À BOGSAN.

Tableau général de toutes les dépenses faites.

NATURE DES DÉPENSES.	DÉPENSES générales		DÉPENSES kilométriques	
	partielles.	totales.	partielles.	totales.
Frais généraux.	francs.	francs.	francs.	francs.
Personnel, frais d'études, etc.	298.997,60	298.997,60	6.312,37	6.312,37
Mobilier d'exploitation.				
Mobilier des gares	23.463,20	23.463,20	495,33	495,33
Acquisition de terrains	75.892,10	75.892,10	1.602,20	1.602,20
Terrassements et ouvrages d'art.				
Travaux de terrassement	493.940,23	739.708,05	10.427,03	15.616,55
Ouvrages d'art	245.767,82		5.188,62	
Ballastage	97.813,85	97.813,85	2.065,03	2.065,03
Établissement des voies.				
Rails	866.637,50	1.401.205,25	18.296,22	29.581,87
Autres matériaux métalliques	71.560,00		1.510,80	
Traverses, bois spéciaux, etc.	163.806,85		3.458,25	
Sabotage, pose des voies, transports, etc.	206.980,78		4.369,70	
Croisements, changements, plaques tournantes	37.732,87		796,60	
Divers	54.487,25		1.150,30	
Bâtiments et accessoires.				
Stations	251.339,22	417.453,87	5.306,20	8.813,17
Maisons de garde, barrières, etc.	75.468,83		1.593,27	
Télégraphe, signaux, etc.	23.130,20		488,32	
Constructions relatives aux alimentations d'eau	63.006 77		1.330,18	
Divers	4.508,85		95,20	
Matériel roulant.				
Deux locomotives spéciales	105.768,93	105.768,93	2.232,98	2.232,98
Totaux		3.160.302,85		66.719,50

LIGNE DE VOJTEK A BOGSAN.

Acquisition de terrains.

INDICATION DES OBJETS.	TOTAUX.
Longueur du chemin.	47.367m,00
Nombre des communes traversées.	8
Superficie des terrains achetés.	46h,37
Superficie des terrains reçus gratuitement.	56 ,70
Largeur moyenne des emprises.	21m,76
Montant des indemnités payées.	54.287f,45
Prix moyen d'un hectare acheté.	1.175 ,00
Dépenses accessoires.	21.602 ,65
Dépense totale.	75.892 ,10
Dépense moyenne par hectare.	786 ,30
Dépense moyenne par kilomètre.	1.600 ,00

Terrassements et ouvrages d'art.

DÉSIGNATION.	DÉPENSES		TERRASSEMENTS.			OUVRAGES D'ART.		
			CUBE		PRIX			PRIX
	totales.	kilométriques.	total.	par mètre linéaire.	par mètre cube.	Nombre.	Somme des ouvertures.	par mètre d'ouverture.
	francs.	francs.			fr.			francs
Terrassements.	493.940,23	10.427,95	374.680,51	7,73	1,32	»	»	»
Ouvrages d'art.	245.767,82	5.188,57	»	»	»	81	196,6	1.250,07
Totaux. . . .	739.708,05	15.616,52	374.680,51	7,73	1,32	81	196,6	1.250,07

LIGNE DE VOJTEK A BOGSAN.

ÉTABLISSEMENT DES VOIES.

I. — Longueur des voies posées.

	francs.
1° Pour la voie unique du chemin.	47.367,00
2° Voies de garage dans les stations, y compris celles de la station d'embranchement à la charge du chemin secondaire.	5.196,65
Longueur totale.	52.563,65

ongueur des voies par mètre linéaire de chemin $\frac{52.563,65}{47.367,00} = 1,109.$

II. — Prix d'un mètre linénaire de voie.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	PRIX.	DÉPENSES	OBSERVATIONS.
Une travée de 7 mètres.		francs.	francs.	
ails. . . . (2 × 7) × 25k,3 la tonne.	354,20	315,00	111,57	
clisses.. . 4 × 3 ,5	14,00	315,00	4,41	
oulons. . 8 × 0 ,41	3,28	600,00	1,97	
rampons. 32 × 0 ,31	9,92	500,00	4,96	
raverses carbonisées. . . . la pièce.	8	3,07	24,56	
Ensemble pour une longueur de 7 mètres, . . .			147,47	
oit pour 1 mètre linéaire.			21,02	
ose des voies, transport et divers accessoires.			3,90	
Ensemble.			24,92	
t si l'on y ajoute le ballastage.			1,85	
On trouve le prix total du mètre linéaire de voie.				26,77
joutant les dépenses pour changements de voie, plaques tournantes et divers.				1,75
On trouve la dépense totale indiquée ci-après.				28,52

III. — Dépense par mètre linéaire.

NATURE DES OUVRAGES.	DÉPENSE totale.	DÉPENSE par mètre linéaire		OBSERVATIONS.
		de chemin.	de voie.	
	francs.	francs.	francs.	
Ballastage.	97.813,85	2,07	1,85	
Établissement des voies.	1.401.205,25	29,58	26,67	
Totaux.	1.499.019,10	31,65	28,52	

LIGNE DE VOJTEK A BOGSAN.

STATIONS.

Tableau des dépenses de toute nature.

NUMÉROS D'ORDRE.	DÉSIGNATION des stations.	DÉPENSES pour les diverses constructions.			DÉPENSES pour les voies de garage, matériel, etc.		
		Bâtiments pour le service des voyageurs.	Bâtiments pour le service des marchandises et divers.	Ensemble.	Doubles voies, changements, plaques tournantes, etc.	Matériel et mobilier.	Ensemble.
		francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1	Vojtek, station d'embranchement, part contributive.	24.706,55	44.656,94	69.363,49	50 855,17	2.884,68	[illegible]
2	Gattaja.	20.163,03	32.951,52	53.114,55	23.170,58	2.871,25	[illegible]
3	Moritzfeld.	20 163,02	10.492,77	30.655,79	22.486,65	2.893,42	[illegible]
4	Gertenyes.	20.163,02	10.492,77	30.655,79	21.044,37	2 893,42	[illegible]
5	Zsidovin.	20.163,02	10.492,77	30.655,79	22.821,47	2.893,42	[illegible]
6	Roman-Bogsan.	20 163,02	10.492,77	30.655,79	22.023,07	2.893,42	[illegible]
7	Deutsch-Bogsan.	20.163,02	53.590,60	73.753,62	81.749,92	6.133,57	[illegible]
	Totaux.	145.684,68	173.170,14	318.854,82	244.151,23	23.463,18	[illegible]

Dans les dépenses afférentes à la station d'embranchement de Vojtek est comp[illegible] participation aux dépenses de la ligne principale, s'élevant à 30.774f,07.

État des dépenses du matériel fixe de la voie et des alimentati[illegible]

QUANTITÉS.	DÉSIGNATION DES OBJETS.	MONTANTS partiels.	MONTANTS totaux.	DÉPENSES par kilomètre de ligne.
	Matériel de voie.	francs.		
29	Changements (tang 0,128).	27.521,75		
1	Plaque tournante de 4m,68 de diamètre.	10.211,13	francs. 37.732,88	francs. [illegible]
	Alimentations.			
3	Réservoirs à fond sphérique de 4,8 de diamètre.	11.808,32		
1	Pompe à vapeur de 2 chevaux.	8.687,65		
2	Pompes à bras avec deux volants.	2.970,07		
4	Grues hydrauliques.	4.308,00		
500 mètres	De conduite d'eau de 105 millimètres de diamètre.	5.833,98		
	Robinets, bornes-fontaines, etc.	1.311,25		
3	Bâtiments d'alimentation de 23mq,50 avec puits.	28.087,50	63.006,77	[illegible]
	Totaux.		100.739,65	[illegible]

IV. Tableau comparatif des dépenses totales et kilométriques des deux lignes : Valkany à Perjamos et de Vojtek à Bogsan.

CHAPITRES.	ARTICLES DE DÉPENSES.	VALKANY-PERJAMOS, 43 kilom. 358 mèt.		VOJTEK-BOGSAN, 47 kilom. 367 mèt.	
		DÉPENSES D'EXÉCUTION			
		totales.	kilométriques.	totales.	kilométriques.
		francs.	francs.	francs.	francs.
28	Frais d'études et de direction de travaux.	58.500,89	1.349,25	163.050,55	3.442,27
29	Acquisition de terrains, honoraires.	18.423,13	424,90	75.892,10	1.602,20
30	Terrassements, y compris ceux des stations.	191.399,40	4.414,40	488.616,35	10.315,55
31	Travaux d'art.	43.973,72	1.014,20	244.106,80	5.153,52
32	Voie et ballastage.	1.797.896,10	41.466,30	1.448.163,92	30.573,27
33	Bâtiments des stations. . .	181.074,90	4.176,27	225.074,00	4.751,70
33	Alimentations, grues, conduites d'eau.	89.633,95	2.067,30	63.006,77	1.330,18
33 et 35	Maisons de garde, passages à niveau.	57.299,10	1.321,53	71.639,22	1.512,43
34	Mobilier des stations. . . .	10.904,32	251,50	22.078,45	466,13
36	Télégraphe à un fil.	21.007,12	484,50	22.783,70	481,00
46	Mise en train de l'exploitation	1.099,27	25,35	16.660,18	351,75
39	Matériel roulant, locomotives.	127.500,00	2.940,63	105.768,93	2.232,95
»	Part contributive de la station de raccordement. .	91.250,00	2.104,57	94.175,00	1.988,20
»	Intérêts pendant la construction.	53.605,22	1.236,35	119.286,88	2.518,35
	Totaux.	2.743.567,12	63.277,05	3.160.302,85	66.719,50

V. Résultats généraux des deux lignes : Valkany-Perjamos et Vojtek-Bogsan.

DÉSIGNATION DES OBJETS.	VALKANY-PERJAMOS.	VOJTEK-BOGSAN.	ENSEMBLE.
Longueur totale du chemin.	43.358^{m},00	47.367^{m},00	90.725^{m},00
I. Acquisition de terrains.			
Largeur moyenne des emprises.	26^{m},47	21^{m},76	24^{m},013
Prix moyen de l'hectare, tous frais accessoires compris.	160^{f},47	736^{f},30	432^{f},90
II. Terrassements.			
Cube total des terrassements.	197.060^{m},13	374.680^{m},51	571.740^{m},64
Cube moyen par mètre courant.	4^{m},545	7^{m},73	6^{m},302
Prix moyen par mètre cube de terrassement.	1^{f},000	1^{f},32	1^{f},21
III. Ouvrages d'art.			
Nombre total des ouvrages.	32	81	113
Ouvertures, ensemble.	36^{m},00	196^{m},60	232^{m},60
Ouverture moyenne par kilomètre.	0^{m},744	4^{m},183	2^{m},563
Prix moyen par mètre linéaire d'ouverture.	1.256^{f},20	1.250^{f},07	1.251^{f},02
Prix moyen par kilomètre.	1.043 ,02	5.188 ,57	2.207^{f},40
IV. Voies de fer.			
Prix d'un mètre linéaire de voie, ballast compris.	39^{f},09	28^{f},52	33^{f},53
Longueur des voies posées par rapport à la longueur du chemin.	1^{m},090	1^{m},109	1^{m},100
Dépense par mètre linéaire de chemin.	42^{f},62	31^{f},65	36^{f},90
V. Stations.			
Nombre des stations.	5	6	11
Espacement moyen des stations.	8.520,00	7.800,00	8.127,00

Observations sur les résultats précédents.

Les chiffres qui précèdent font voir que par l'application de types économiques en rapport avec les besoins limités de l'exploitation et la charge des trains, les frais de construction peuvent être maintenus dans des limites très-restreintes.

La dépense kilométrique de 65.000 francs pour les lignes secondaires ne doit toutefois être admise comme base d'évaluation que dans le cas où le terrain est favorable et ne présente pas de difficultés sérieuses pour l'exécution.

En ce qui concerne les deux lignes que nous considérons,

Les conséquences à tirer des tableaux qui précèdent peuvent se résumer ainsi qu'il suit :

Terrains. — La largeur des emprises est de 26^m,47 pour Valkany-Perjamos, et de 21^m,76 pour Vojtek-Bogsan. L'excédant relatif à la première ligne vient de ce que les terrains ayant été cédés gratuitement à peu près en totalité, les dimensions ordinaires des banquettes, les surfaces des stations, etc., ont été un peu augmentées.

La cession gratuite des terrains dans la plus grande proportion possible est un avantage des plus importants, non-seulement au point de vue économique, mais aussi à celui des facilités qui en résultent pour l'exécution rapide des travaux.

Terrassements. — La comparaison des cubes moyens par mètre linéaire et des prix de revient par mètre cube donne quelques différences, qui s'expliquent :

1° Pour le cube moyen, qui est plus grand pour Vojtek-Bogsan que pour Valkany-Perjamos, par la nature plus accidentée du terrain sur cette première ligne ;

2° Pour le prix de revient, par la nécessité de l'emploi d'un matériel spécial de transport et l'importance plus grande des mouvements de terres. Cette différence n'est toutefois que de 1^f,32 — 1^f,00 = 0^f,32.

Ouvrages d'art. — Le nombre des ouvrages a été beaucoup plus grand pour Vojtek-Bogsan que pour Valkany-Perjamos. On remarquera que le prix par mètre linéaire d'ouverture est resté sensiblement le même sur les deux lignes.

La dépense kilométrique est environ cinq fois plus grande pour Vojtek-Bogsan que pour Valkany-Perjamos. Cela tient à ce que cette dernière ligne se trouvait sous ce rapport dans des conditions exceptionnellement favorables.

Voie. — Les longueurs totales des voies posées, comparées à celles des lignes, sont :

1.090 pour Valkany-Perjamos,
1,109 pour Vojtek-Bogsan.

Ces proportions sont sensiblement les mêmes.

Les prix par mètre linéaire de chemin sont : 42f,6. pour Valkany-Perjamos et 31f,65 pour Vojtek-Bogsan. Ce dernier prix est bien inférieur à l'autre, par suite d'une réduction sur le prix des rails, et de l'économie réalisée sur la fourniture du ballast par l'ouverture d'une ballastière à Bogsan.

Stations. — Le nombre des stations est de cinq sur Valkany-Perjamos, et de six sur Vojtek-Bogsan. Les prix de revient kilométrique sont de 4.176f,27 pour la première ligne, et de 4.751f,70 pour la seconde ligne. Cette différence est peu importante, et vient de ce que sur Valkany-Perjamos on a appliqué dans trois stations un type de dimensions plus petites que celles du type normal.

Les surfaces occupées et les dispositions des voies permettent toutes les extensions que l'augmentation du trafic pourrait ultérieurement rendre nécessaires.

Dépenses totales. — La dépense kilométrique est :

	francs.
Pour Valkany-Perjamos.	63.275,07
Pour Vojtek-Bogsan.	66.719,50
Différence.	3.444,43

Cette différence s'explique par les travaux beaucoup plus importants de l'infrastructure, dont l'excédant toutefois a été en grande partie compensé par les économies réalisées sur la voie et le ballastage.

N° 29

DÉTERMINATION DE LA PRESSION

DANS LES

CHAUDIÈRES A VAPEUR CYLINDRIQUES

Board of Trade, août 1874 (*).

INSTRUCTIONS POUR LES CONTRÔLEURS.

Le *Board of Trade* a été fréquemment prié de publier le détail des règles qui guident ses conseillers dans la fixation de la pression des chaudières à vapeur. Ces règles ont été réunies dans la présente circulaire pour servir aux ingénieurs et aux constructeurs de chaudières.

Quand les chaudières sont construites avec les meilleurs matériaux, que *tous* les trous de rivets ont été percés au foret, sur place, que *toutes* les coutures sont pourvues de doubles couvre-joints ayant au moins les $\frac{5}{8}$ de l'épaisseur des tôles qu'ils recouvrent, que *toutes* les coutures ont au moins deux rangs de rivets, et que les rivets ne supportent pas un effort de plus de 50 p. 100 supérieur à celui qui résulterait du cisaillement simple, que les chaudières, enfin, ont pu être soumises à l'inspection des contrôleurs, pendant *toute* la durée de la construction, quand toutes ces conditions sont réunies, le nombre 6 peut être adopté comme facteur de sécurité. Néanmoins, les chaudières doivent être éprouvées, au moyen de la presse hydraulique, au double de la pression de régime, en présence et à la satisfaction des contrôleurs du *Board of Trade*.

Mais quand les conditions ci-dessus énumérées ne sont pas remplies, le facteur 6 *doit* être augmenté des nombres, indiqués dans le tableau ci-dessous, correspondant aux cas qui peuvent se présenter.

(*) Traduction de la circulaire n° 755. $\frac{\text{M. 4.596}}{1873}$ & $\frac{11.410}{1874}$.

	A AJOUTER au facteur 6.	
A	0,15	Quand tous les trous sont corrects et régulièrement percés d… les coutures longitudinales, mais qu'ils ont été percés au f… avant l'assemblage et après le cintrage.
B	0,30	Quand tous les trous sont corrects et régulièrement percés d… les coutures longitudinales, mais qu'ils ont été percés au fo… avant l'assemblage et avant le cintrage.
C	0,30	Quand tous les trous sont corrects et régulièrement percés da… les coutures longitudinales, mais qu'ils ont été percés au poin… çon après le cintrage.
D	0,50	Quand tous les trous sont corrects et régulièrement percés da… les coutures longitudinales, mais qu'ils ont été percés au poin… çon avant le cintrage.
E *	0,75	Quand tous les trous ne sont pas corrects et régulièrement per… cés dans les coutures longitudinales.
F	0,10	Quand les trous sont tous corrects et régulièrement percés dan… les coutures transversales, mais percés au foret avant l'assem… blage et après le cintrage.
G	0,15	Quand les trous sont corrects et percés régulièrement dans le… coutures transversales, mais forés avant le cintrage.
H	0,15	Quand les trous sont corrects et percés régulièrement dans le… coutures transversales, mais percés au poinçon après le cin… trage.
I	0,20	Quand les trous sont corrects et percés régulièrement dans le… coutures transversales, mais percés au poinçon avant le cin… trage.
J *	0,20	Quand les trous ne sont pas corrects et percés régulièreme… dans les coutures transversales.
K	0,20	Quand les coutures longitudinales ne sont pas pourvues d… doubles couvre-joints et qu'elles sont à clin et rivées à deu… rangs de rivets.
L	0,10	Quand les coutures longitudinales ne sont pas pourvues d… doubles couvre-joints et qu'elles sont à clin et rivées à tro… rangs de rivets.
M	0,30	Quand les coutures longitudinales sont pourvues de couvre-join… simples et qu'elles sont rivées à deux rangs de rivets.
N	0,15	Quand les coutures longitudinales sont pourvues de couvre… joints simples et rivées à trois rangs de rivets.
O	1,00	Quand il y a une couture longitudinale quelconque rivée à u… seul rang de rivets.
P	0,10	Quand les coutures transversales sont pourvues de couvre-joint… simples et rivées à deux rangs de rivets.
Q	0,20	Quand les coutures transversales sont pourvues de couvre-joint… simples et rivées à un seul rang de rivets.
R	0,10	Quand les coutures transversales sont pourvues de couvre-join… doubles et rivées à un seul rang de rivets.
S	0,10	Quand les coutures transversales sont à clin et rivées à deu… rangs de rivets.
T	0,20	Quand les coutures transversales sont à clin et rivées à un se… rang de rivets.
U	0,25	Quand les coutures transversales sont à clin et que le recouvre… ment n'est pas fait dans un seul et même sens.
V	0,30	Quand les coutures transversales ne sont pas pourvues d… doubles couvre-joints et rivées à deux rangs de rivets. Quan… la chaudière est d'une longueur telle qu'on doive la chauffe… par les deux extrémités ou qu'elle est d'une longueur inusitée… comme les chaudières à carneaux intérieurs.
W *	0,40	Quand les joints ne sont pas convenablement croisés.
X *	0,40	Quand il y a des doutes sur la qualité du fer, que le contrôleu… ne le considère pas comme de la meilleure qualité.
Y	1,65	Quand la chaudière n'a pas été soumise à l'inspection du con… trôleur pendant toute la durée de sa construction.

* Dans les cas marqués d'une *, le nombre à ajouter au facteur de sécurité peu… être augmenté si la main-d'œuvre ou la qualité des matériaux laisse beaucoup à désirer.

La résistance des joints se détermine par la méthode suivante :

$$\frac{\text{...nt d'axe en axe — Diamètre des rivets)} \times 100}{\text{Ecartement d'axe en axe.}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Rapport de la résistance de la tôle au joint,} \\ \text{à la résistance de la même tôle hors du} \\ \text{joint. — Celle-ci étant supposée égale} \\ \text{à 100.} \end{array} \right.$$

$$\frac{\text{...s rivets} \times \text{Nombre de rangs de rivets} \times 100}{\text{...ment d'axe en axe} \times \text{Epaisseur de la tôle.}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Rapport de la résistance des rivets à la} \\ \text{résistance de la tôle hors du joint. —} \\ \text{Celle-ci étant supposée égale à 100 (1).} \end{array} \right.$$

...nd les rivets travaillent par double cisaillement, ce rapport doit être multiplié par 1,5.

La résistance du fer étant admise comme égale à 23 tonnes ou 51.520 livres par pouce carré, on prend, pour représenter la résistance du joint, le plus faible des deux rapports ci-dessus et l'on adopte, pour la valeur du facteur de sécurité, le nombre qui résulte de l'application des indications du précédent tableau; la charge P des soupapes de sûreté, en livres, par pouce carré, est alors déterminée par la formule suivante :

$$P = \frac{51520 \times \text{résistance du joint} \times \text{deux fois l'épaisseur de la tôle en pouces.}}{\text{Diamètre intérieur de la chaudière en pouces} \times \text{facteur de sécurité.}}$$

Les tôles qui ont été forées sur place *doivent* être démontées, les bavures enlevées et les trous légèrement fraisés à l'extérieur.

Les couvre-joints *doivent* être pris dans les tôles (et *non* dans des barres de fer plat), et doivent être d'aussi bonne qualité que les tôles de l'enveloppe; pour les joints longitudinaux, ils *doivent* être débités dans le travers des feuilles. Les trous de rivets, dans les couvre-joints, peuvent être percés au foret ou au poinçon, selon qu'ils sont percés au foret ou au poinçon dans les tôles avant l'assemblage; mais quand ils ont été percés sur place, les couvre-joints doivent être démontés, les bavures enlevées et les trous légèrement fraisés à l'extérieur.

Quand on emploie des couvre-joints simples et que les trous des rivets y sont percés au poinçon, leur épaisseur *doit* être de $\frac{1}{8}$ plus forte que celle des tôles qu'ils recouvrent.

Le diamètre des rivets ne *doit* pas être inférieur à l'épaisseur des feuilles dont se compose l'enveloppe, mais quand les plaques sont minces ou quand on fait usage de joints à clin ou de couvre-joints simples, il est nécessaire que le diamètre des rivets soit supérieur à l'épaisseur des tôles.

Signé Thomas GRAY.

CHRONIQUE.

Juin 1876.

N° 30

Exposition universelle de Philadelphie. — La *Société américaine des ingénieurs civils* nous demande de faire connaître qu'elle tiendra sa huitième assemblée générale à Philadelphie, dans le bâtiment principal de l'Exposition, galerie de l'Ouest, du 13 au 15 juin. Elle invite à y assister ceux des membres du corps des ponts et chaussées que l'Exposition aura pu attirer, d'ici là, de l'autre côté de l'Atlantique; elle s'applaudirait qu'ils voulussent bien venir prendre part à ses délibérations. E. M.

Nouvelles formules de quadratures. — Plusieurs formules servent, dans la pratique, à calculer des quadratures par approximation. Si l'on considère la base divisée en un nombre pair de parties égales entre elles et désignées par h, et si y_0, y_1, $y_2 \ldots\ldots y_{2n}$ sont les ordonnées correspondantes, la formule des trapèzes donne la formule approximative suivante :

$$T = h\left[(y_0 + y_1 \ldots\ldots + y_{2n}) - \frac{1}{2}(y_0 + y_{2n})\right].$$

La formule de Poncelet est

$$\Sigma = h\left[2(y_1 + y_3 \ldots\ldots + y_{2n-1}) + \frac{1}{4}(y_0 + y_{2n}) - \frac{1}{4}(y_1 + y_{2n-1})\right].$$

Enfin la formule de Simpson est

$$S = \frac{1}{3}h[2(y_0 + y_2 \ldots\ldots + y_{2n}) + 4(y_1 + y_3 \ldots\ldots + y_{2n-1}) - (y_0 + y_{2n})].$$

Ces formules ont déjà été modifiées à diverses reprises, soit dans le but d'arriver à une plus grande approximation, soit dans le but de simplifier les calculs.

Ainsi M. Leclert, ingénieur des constructions navales, a donné une *formule des trapèzes modifiés* (*), qui est

$$T_1 = T + \frac{h}{16}(y_1 + y_{2n-1} - y_0 - y_{2n}),$$

et qui est plus approchée que la formule des trapèzes.

D'autre part, M. Catalan a donné la formule suivante, qui est une modification de la formule de Simpson :

$$S_1 = h\left[(y_0 + y_1 \ldots\ldots + y_{2n}) - \frac{5}{8}(y_0 + y_{2n}) + \frac{1}{6}(y_1 + y_{2n-1}) - \frac{1}{24}(y_2 + y_{2n-2})\right].$$

M. le général du génie Parmentier a présenté au congrès tenu à Nantes (août 1875) par l'association française pour l'avancement des sciences, une étude sur la comparaison des diverses méthodes d'approximation dont nous venons de parler. Nous extrayons des épreuves des comptes rendus de la session, qui nous ont été communiquées, les résultats suivants :

En étudiant analytiquement les aires inscrites et circonscrites comparées à l'aire de la courbe, le général Parmentier arrive à proposer, pour remplacer la formule de Poncelet, la formule suivante :

$$\Sigma_1 = \left[2(y_1 + y_3 \ldots\ldots + y_{2n-1}) + \frac{1}{6}(y_0 + y_{2n}) - \frac{1}{6}(y_1 + y_{2n-1})\right].$$

Cette formule, de même forme que la formule de Poncelet, est plus approchée : la limite de l'erreur commise, qui s'exprime géométriquement comme dans la formule de Poncelet, est réduite dans le rapport de 3 à 2.

M. le général Parmentier a comparé d'autre part la nouvelle formule qu'il propose à celle de Simpson, et il conclut que les résultats qu'elle fournit doivent différer fort peu; que cette nouvelle formule exige un moindre nombre d'ordonnées ($n + 2$ au lieu de $2n + 1$) et présente enfin l'avantage de permettre de déterminer *à priori* une limite supérieure de l'erreur.

Dans des applications numériques de ces diverses formules correspondant à des courbes dont on avait pu déterminer rigoureusement l'aire, M. le général Parmentier a reconnu que la formule qu'il propose est toujours supérieure aux autres, si ce n'est à la formule Simpson, avec laquelle elle partage le premier rang sous

(*) *Annales du génie civil*, 1868.

le rapport de l'exactitude. Mais tandis que la formule de Simpson est souvent moins exacte que la formule Poncelet ou que celle des trapèzes circonscrits, la formule de M. le général Parmentier, lorsqu'elle n'est pas la plus exacte, arrive au second rang.

Bac à vapeur sur le lac de Constance. — Un premier essai de bac à vapeur (1868), construit à Zurich pour permettre aux trains circulant sur les voies ferrées de traverser le lac sans qu'il fût nécessaire de transborder les marchandises, a donné des résultats assez satisfaisants pour que l'on vienne de lancer sur le lac de Constance un nouveau bac destiné à relier en diagonale Romanshorn à Lindau (25 kilomètres), en évitant le chemin de fer de ceinture du lac, dont le trajet est double.

Les *Annales industrielles* fournissent à ce sujet les renseignements suivants :

Les difficultés pratiques étaient principalement : le faible tirant d'eau, qui s'abaisse souvent à 1^{m},80 à l'entrée de ports si étroits que des bateaux de 75 mètres n'y peuvent tourner ; l'abordage difficile à cause des crues de 3^{m},60, et les bourrasques subites, dangereuses pour des bateaux chargés du poids d'un train (18 wagons).

Ces difficultés ont été vaincues par l'emploi d'un bateau ayant un tirant d'eau maximum de 1^{m},70 ; la longueur est de 73 mètres, la largeur de 11 mètres ; largeur extérieure des tambours, 18 mètres. Le bateau est en tôle et cornière, divisé en neuf cloisons étanches ; les deux extrêmes sont destinées aux réservoirs d'eau que des prises d'eau peuvent emplir et des pompes centrifuges peuvent vider à volonté. Ces réservoirs servent à équilibrer le chargement et à rendre variable le niveau du pont à l'abordage ; l'abordage se fait à l'aide de plans inclinés mobiles. Enfin des hélices de secours indépendantes permettent une grande précision et une facilité particulière pour les manœuvres en même temps qu'elles constituent une force additionnelle qui peut être utile en cas de tempête.

Deux voies ferrées distantes de 1^{m},83 sont établies sur le pont, et peuvent recevoir de seize à vingt wagons, constituant une charge utile d'environ 300 tonnes. Une passerelle centrale domine le pont de 5 mètres ; le capitaine et le timonier dirigent les mouvements de ce point élevé, où se trouvent un signal de brouillard et divers organes accessoires.

Les roues à aubes ont 4^{m},80 de diamètre ; elles sont actionnées par des moteurs indépendants (machines de Woolf à cylindres

oscillants); les chaudières à retour de flamme fournissent [illegible] vapeur à 5 atmosphères.

La durée du trajet (25 kilomètres) est de une heure et dem[illegible] la consommation de la houille est de o^{k},6.

Consommation de rails en France en 1875. — Nous trouvo[illegible] dans les *Annales industrielles* des indications que nous résumo[illegible] sur les quantités de rails en fer et en acier que les diverses com[illegible]pagnies de chemins de fer français ont fait recevoir aux usine[illegible] en 1875.

DÉSIGNATION DES COMPAGNIES.	RAILS EN FER.	RAILS EN ACIER.	TOTAL.
	kilog.	kilog.	kilog.
Chemin de fer du Nord.	2.500.000	38.604.000	41.104.000
Chemin de fer de l'Ouest. . . .	1.785.400	11.999.100	13.784.500
Chemin de fer d'Orléans. . . .	28.000.000	9.000.000	37.000.000
Chemin de P.-L.-M.	22 088.000	50.747.000	72.835.000
Chemin de fer de l'Est.	8.207.000	2.610.000	10.817.000
Chemin de fer du Midi.	20.095.000	2.470.000	22.565.000
Compagnies diverses.	14.203.619	5.230.694	19.434.[illegible]
Totaux.	96.889.019	120.660.794	217.549.813

En 1874, la quantité de rails en fer s'était élevée à 125.667.201 k[illegible] pour les rails en acier à 102.227.760 kilog., soit un total [illegible] 227.894.961 kilog.

Il y a donc en somme une diminution totale de 10.000 tonnes po[illegible] l'année 1875 : diminution qui s'élève à près de 29.000 tonnes po[illegible] les rails en fer, tandis qu'il y a une augmentation de 18.000 tonn[illegible] sur les rails en acier.

C. M. G.

TABLES

DES MÉMOIRES ET DOCUMENTS

PUBLIÉS

DURANT LE 1er SEMESTRE DE 1876.

PREMIÈRE TABLE.

RÉCAPITULATION DES ARTICLES PAR ORDRE D'INSERTION.

NUMÉROS des articles.	RAPPEL des cahiers.	INDICATION DES ARTICLES.	NUMÉROS des pages.	NUMÉROS des planches.
1	1	Notes recueillies dans une mission en Angleterre (1874) par MM. Poulet et Luneau, élèves ingénieurs des ponts et chaussées; analyse et extraits par M. Gariel, ingénieur des ponts et chaussées :		
		1° Nouveau rouleau compresseur.	5	2
		2° L'Albert Bridge, à Londres.	9	
		3° Comble de la station de Saint-Pancrace (Midland Rw).	17	3
		4° Tramway à voie entièrement métallique du port de Glascow.	28	
		5° Bateau-porte du nouveau bassin de radoub de Greenock.	30	
2	1	Alimentation en eau du fort Saint-Michel, à Toul : Notice par M. A. Picard, ingénieur des ponts et chaussées	33	1
3	1	Instructions sur les *opérations* à faire pour la délimitation des cours d'eau navigables : note par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées.	67	
4	1	Recensement de la circulation sur les routes; application du comptage ambulant : note par M. Laterrade, ingénieur en chef des ponts et chaussées.	71	
		Chronique [Janvier 1876] :		
5	1	Société amicale de secours des anciens élèves de l'Ecole polytechnique : Discours prononcé à l'assemblée annuelle par M. Caillaux, ministre des travaux publics.	99	
6	1	M. de Bétancourt.	103	

NUMÉROS des articles.	RAPPEL des cahiers.	INDICATION DES ARTICLES.	NUMÉROS des pages.	NUMÉROS des planches.
7	1	Bibliographie : notice biographique sur feu M. J. Callon, inspecteur général des mines, par M. Jacquemin, ingénieur en chef des ponts et chaussées; analyse.	105	
8	2	Chemins de fer français. — Note sur les sommes déversées par les six grandes compagnies, au profit du nouveau réseau, de 1864 à 1873; par M. L. Aucoc, président de section au Conseil d'Etat.	109	
9	2	Note sur les calculs de stabilité des poutres continues reposant sur plus de deux points d'appui et ayant des moments d'inertie variables dans les différentes sections verticales; par M. Kleitz, inspecteur général des ponts et chaussées.	115	
10	2	Notes recueillies dans une mission en Angleterre (1874) par MM. Poulet et Luneau, élèves ingénieurs des ponts et chaussées : analyse et extraits par M. Gariel, ingénieur des ponts et chaussées (*suite*) :		
		6° Chemins de fer. — Appareils de manœuvres des aiguilles et des signaux à la station de Cannon-Street (Londres).	150	4
		7° Appareils de sûreté pour les aiguilles. . . .	158	
		8° Cabestans hydrauliques.	163	
		9° Nouveaux murs de quai du port de Glascow.	168	5
11	2	Application des équations générales de la résistance des matériaux au problème de la stabilité des voûtes; par M. de Perrodil, ingénieur des ponts et chaussées.	178	5
12	2	Note sur les gisements actuels de guano au Pérou; par MM. Léon et Alfred Durand-Claye, ingénieurs des ponts et chaussées.	223	
		Chronique [Février 1876] :		
13	2	Dragages de la rade de Port-Saïd. — Emploi de la dynamite dans les travaux de dérochement et de démolition d'ouvrages en maçonnerie. — Consolidation de remblais argileux. — Réparation de maçonneries par des injections de mortier. — Chemins de fer et tramways : renseignements statistiques.	233	
14	3	De la propriété des alluvions dites *artificielles* : note par M. Schlemmer, ingénieur en chef des ponts et chaussées.	241	
15	3	Barrages mobiles à forte chute : mémoire par M. Boulé, ingénieur des ponts et chaussées. . . .	320	6
16	3	Exploitation du chemin de fer de Perpignan à Prades : note par M. Normand, ancien élève externe de l'Ecole des mines.	375	
		Chronique [Mars 1876] :		
17	3	Exposition universelle de Philadelphie.	305	

NUMÉROS des articles.	RAPPEL des cahiers.	INDICATION DES ARTICLES.	NUMÉROS des pages.	NUMÉROS des planches.
		Chronique [Mars 1876] (*Suite*) :		
18	3	Les wagons-lits du colonel Mann. — La voiture à vapeur de M. Bollée (du Mans). — Rupture d'une digue de réservoir. — Nouveau système de pont mobile. — Appareil élévatoire pour les bateaux. — Grue flottante.	306	
19	4	Étude sur la baie de Saint-Jean-de-Luz ; par M. Bouquet de la Grye, ingénieur hydrographe de la marine.	395	7, 8
20	4	Le canal de l'Est : note par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées.	459	9
21	4	Détermination graphique des moments de flexion d'une poutre à plusieurs travées solidaires ; par M. G. Fouret, ancien élève de l'École polytechnique.	473	8
		Chronique [Avril 1876] :		
22	4	Exposition universelle de Philadelphie.	497	
		Sifflet automoteur pour locomotive. — Abonnements kilométriques sur le chemin de fer de Lausanne à Echallens. — Pont de Riga sur la Düna.	497	
23	5	Assainissement de Berlin : note par M. Mille, inspecteur général des ponts et chaussées.	501	10
24	5	Endiguements de la Durance : étude par M. Hardy, ingénieur en chef des ponts et chaussées	518	11
25	5	De quelques travaux récents relatifs à la théorie des voûtes : note par M. Ed. Collignon, ingénieur des ponts et chaussées.	539	
		Chronique [Mai 1876] :		
26	5	Double décimètre de M. Castelnau. — Hydraulique des grands fleuves. — Chemins de fer (statistique). — Locomotive à air comprimé. — Action de la chaleur sur les ponts métalliques. — Bibliographie.	545	
27	6	Rapport au préfet de la Seine sur les travaux de la commission chargée d'examiner les questions qui se rattachent à l'assainissement des Halles centrales de Paris.	553	12
28	6	Notice sur la construction et les prix de revient des chemins de fer secondaires de Valkany à Perjamos et de Vojtek à Bogsan (Hongrie) ; par M. Fournier, inspecteur général de la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État.	603	13
29	6	Instructions données par le *Board of Trade* pour la détermination de la pression dans les chaudières à vapeur cylindriques.	627	
		Chronique [Juin 1876] :		
30	6	Exposition universelle de Philadelphie. — Nouvelles formules de quadratures. — Bac à vapeur sur le lac de Constance. — Consommation des rails en France en 1875.	631	

DEUXIÈME TABLE.

ANALYSE DES MATIÈRES PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

A

Abonnement kilométrique (chemin de fer de Lausanne à Echallens), p. 499.

Accumulateur, p. 153.

Aiguilles de chemins de fer, p. 130.

Air comprimé (locomotive à), p. 547.

Albert-Bridge, p. 9.

Alimentation en eau du fort Saint Michel. — Notice par M. Picard, ingénieur des ponts et chaussées, p. 33 à 66.

Chap. I. Évaluation des besoins et choix du mode d'alimentation, p. 33. — Chap. II. Conduite ascensionnelle, p. 36. — Chap III. Pompe, p. 41. — Chap. IV. Turbine, p. 47. — Chap. V. Transmission de mouvement. — Réservoir d'air, p. 54. — Chap. VI. Bâtiment des machines, p. 56. — Chap. VII. Epreuves, p. 58. — Chap. VIII. Mode d'exécution et dépenses de premier établissement, p. 63. — Conclusions, p. 65, Pl. 1.

Alluvions (propriété des), p. 241.

Angleterre (mission en). Notes recueillies par MM. Poulet et Luneau, élèves ingénieurs des ponts et chaussées; Analyse et extraits par M. Gariel, ingénieur des ponts et chaussées, p. 5 à 32 et 150 à 177.

I. Nouveau rouleau compresseur pour cylindrage des chaussées, p. 5. — II L'Albert Bridge, p. 9. — III. Comble de la station de Saint-Pancrace (Midland Railway), à Londres, p. 17. — IV. Tramways à voie entièrement métallique du port de Glascow, p. 28. — V. Bateau porte de la nouvelle forme de radoub de Greenock, p. 30. — VI. Chemins de fer. — Appareils de manœuvre des aiguilles et des signaux à la station de Cannon street (Londres), p. 150. — VII. Appareils de sûreté pour les aiguilles, p. 158. — VIII. Cabestans hydrauliques, p. 163. — IX. Nouveaux murs de quai du port de Glascow, p. 168. Pl. 2, 3, 4 et 5.

Armstrong, p. 163.

Assainissement de Berlin. Règlements et travaux : note par M. Mille, inspecteur général des ponts et chaussées, p. 501 à 514.

1. Exposé, p. 501. — 2. La distribution d'eau à Vienne, p. 501. — 3. Assainissement de Berlin. État actuel, p. 502. — 4. Principes d'assainissement, p. 504. — 5. Règlements sur l'assainissement des habitations, p. 505. — 6. Canalisation des voies publiques, p 507. — 7. Service des machines, p. 508. — 9. Résumé et conclusions, p. 512.

Documents annexes. I. Ordonnance de police, p. 514. — II. Arrêté du maire, p. 516. — III. Prescriptions de police, p. 517, pl. 10.

Assainissement des Halles centrales de Paris. Rapport à M. le préfet de la Seine sur les travaux de la Commission chargée d'examiner les questions qui se rattachent à cet assainissement, p. 553 à 602.

Origine et composition de la Commission, p. 553. — Point de départ et programme sommaire des travaux de la Commission, p. 554. — Description générale des Halles centrales, p. 555. — Discussion relative à l'insalubrité des Halles, p. 563. — Moyens employés actuellement pour prévenir ou atténuer les causes d'infection, p. 567. — Améliorations proposées dans le service du nettoiement, p. 568. — Etude de nouveaux aménagements intérieurs, p. 572. — Assainissement des latrines existantes, p. 574. — Perfectionnements à introduire dans quelques agencements accessoires, p. [illegible] — Système général de ventilation à adopter, p. 576. — Mesures de police relatives à l'assainissement, p. 580. — Dépenses que comporte l'assainissement des Halles, p. [illegible] — Résumé et conclusions, p. [illegible]

Annexes : Liste des principaux ouvrages à consulter pour l'étude

des questions relatives à l'assainissement des Halles, p. 584. — Rapport d'une Sous-Commission spéciale sur les projets présentés et sur les moyens employés pour assainir les sous-sols par des procédés de ventilation, p. 585. — Note sur les résultats obtenus par le liquide désinfectant, p. 598. — Composition du liquide désinfectant expérimenté aux Halles, p. 601. — Légende explicative des différents services concentrés dans les Halles centrales, p. 601, Pl. 12.

[A]UCOC. Les chemins de fer français. Sommes déversées par les six grandes Compagnies au profit du nouveau réseau de 1864 à 1875, p. 109.

[A]VELING et PORTER, p. 6.

B

[Ba]c à vapeur sur le lac de Constance, p. 633.

[Ba]ie de Saint-Jean-de-Luz. Étude par M. Bouquet de La Grye, ingénieur hydrographe de la marine, p. 395 à 458.

Chap. I. Actions extérieures, p. 395. — Chap. II. Actions intérieures, p. 410. — Chap. III. Description des états antérieurs de la baie de Saint-Jean-de-Luz. Comparaison des lignes de niveau; courbes des maxima d'érosion. Comparaison des surfaces et des volumes, p. 423. — Chap. IV. Avenir de la baie après l'achèvement des digues. Améliorations de la Nivelle et du Socoa, p. 451. Pl. 7 et 8.

[Ba]rlow, p. 17.

[Ba]rrages mobiles à forte chute : mémoire sur un nouveau système de barrage mobile fermé par des vannes et des fermettes, par M. Boulé, ingénieur des ponts et chaussées, p. 320 à 374.

Exposé, p. 320.

Chap. I. Description générale du barrage à fermettes et vannes et justification des dispositions proposées.

§ 1. Substitution de vannes ordinaires aux aiguilles des barrages de M. Poirée, p. 322. — § 2. Manœuvres des vannes. — Facilités et avantages nombreux qu'elles présentent, p. 326. — § 3. Dimensions et dispositions des vannes, p. 333. — § 4. Dispositions diverses. — Vannes automobiles, p. 336. — § 5. Dimensions des fermettes. — Hauteur des retenues, p. 341. — § 6. Résistance des fermettes, p. 345. — § 7. Entretoisement des fermettes successives. — Augmentation postérieure du niveau de la retenue, p. 351.

Chap. II. Application au barrage de Port-à-l'Anglais. — Expériences.

§ 1. Dispositions adoptées pour les expériences, p. 354. — § 2. Expériences, p. 360. — Résumé, p. 370, Pl. 6.

Bateau-porte de Greenock, p. 30.

Bateaux (appareil élévatoires pour les), p. 392.

Berlin (assainissement de), p. 501.

Bétancourt (de), p. 103.

Bibliographie, p. 549.

Biographie. Notice sur M. J. Callon, par M. Jacqmin, ingénieur en chef des ponts et chaussées; Note analytique par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées, p. 105.

Board of Trade. Voir Chaudières à vapeur, p. 627.

Bollée. Voiture à vapeur, p. 388.

BOULÉ. Nouveau système de barrage mobile fermé par des vannes et des fermettes, p. 320.

BOUQUET DE LA GRYE. Étude sur la baie de Saint-Jean-de-Luz, p. 395.

Bulletin bibliographique, p. 549.

C

Cabestans hydrauliques, p. 163.

Caillaux. Discours, p. 99.

Callon. Notice biographique, par M. Jacqmin, ingénieur en chef des ponts et chaussées; note analytique par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées, p. 105 à 108.

Canal de l'Est. Note par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées. p. 459 à 472.

I. Renseignements techniques, p. 459. — II. Renseignements financiers, p. 465. — III. Résumé, p. 470, pl. 9.

Canaux. Appareil élévatoire pour les bateaux, p. 392.

Castelnau (double décimètre), p. 545.

Chaleur (action de la) sur les ponts métalliques, p. 548.

Chaudières à vapeur. — (Instructions données par le *Board of Trade* pour la détermination de la pression dans les), p. 627.

Chemins de fer. — Voir Aiguilles, p. 152.

Chemins de fer français. Note sur les sommes déversées par les six grandes compagnies de chemins de fer, au profit du nouveau réseau de 1864 à 1875; par M. Aucoc, président de section au Conseil d'État, p. 109 à 114.

Chemins de fer. Statistique : États-Unis, p. 238; Angleterre, p. 239, 546; Russie, p. 239; Indes, p. 239; Suisse, p. 546; Allemagne, p. 546.
— Exploitation. Voir Résultats économiques, p. 375.
— Wagons-lits, p. 386.
— Sifflet automoteur, p. 497.
— suisses. Abonnements kilométriques, p. 499.

Chemins de fer secondaires de Valkany à Perjamos et de Vojtek à Bogsan (Hongrie). Notice sur la construction et les prix de revient, par M. Fournier, inspecteur général de la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'Etat, p. 603 à 626.

Considérations générales, p. 604. — I. Conditions spéciales des actes de concession des lignes secondaires, p 608. — II. Ligne de Valkany à Perjamos, p. 609. — III. Ligne de Vojtek à Bogsan, p. 618. — IV. Tableau comparatif des dépenses des deux lignes, p. 623. — V. Résultats généraux des deux lignes, p. 624. — Observations sur les résultats généraux, p. 624.
— Consommation de rails en France, p. 634.

Chronique :

Janvier. Société amicale de secours des anciens élèves de l'École polytechnique. Discours du ministre des travaux publics, p. 99. — M. de Bétancourt, p. 103.

Février. Dragages de la rade de Port-Saïd, p. 233. — Consolidation de remblais argileux, p. 236. — Réparation de maçonneries par l'injection de mortier clair ou de ciment, p. 237 — Chemins de fer et tramways. Statistique, p. 238.

Mars. Exposition universelle de Philadelphie, p. 385. — Les wagons-lits du colonel Mann, p. 386. — La voiture à vapeur de M. Bollée, du Mans, p. 388. — Rupture d'une digue de réservoir, p. 389. — Nouveau système de pont mobile, p. 3.. — Appareil élévatoire pour les ..teaux, p. 392. — Grue flottante, p. 392.

Avril. Exposition universelle de Philadelphie, p. 497. — Sifflet automoteur pour locomotive, p. 497. — Abonnement kilométrique sur le chemin de fer de Lausanne à Echallens, p. 499. — Pont de Riga sur la Düna, p. 499.

Mai. Double décimètre de M. Castelnau, p. 545. — Hydraulique des grands fleuves, le Parana, l'Uruguay et le bassin de la Plata, p. 545. — Chemins de fer. — Statistique, p. 546. — Locomotive à air comprimé, p. 547. — Action de la chaleur sur les ponts métalliques, p. 548.

Juin. Exposition universelle de Philadelphie, p. 631. — Nouvelles formules de quadratures, p. 631. — Bac à vapeur sur le lac de Constance, p. 633. — Consommation de rails en France en 1875, p. 634.

COLLIGNON. Théorie des voûtes, p. 539.
— p. 481.

Comble de la station de Saint-Pancrace, p. 17.

Comptage ambulant. Voir Recensement de la circulation sur les routes, p. 71.

Consolidation de remblais, p. 236.

Consommation de rails en France en 1875, p. 634.

Constance (lac de). Bac à vapeur, p. 633.

Construction des chemins de fer secondaires de la Hongrie. — Prix de revient, p. 603.

Cours d'eau navigables. Voir Délimitation, p. 67.

D

Décimètre (double), perfectionnement, p. 545.

Délimitation des cours d'eau navigables : note par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées, p. 67 à 70.
— des îles, p. 315.

Demont. Note sur les résultats obtenus par le liquide désinfectant de MM. Rousseau, p. 598.

Désinfection. Voir Assainissement des Halles centrales, p. 553.

ter pour les conduites, suivant que celles-ci seraient placées en contre-bas du sol, sur le sol, ou au-dessus du sol et suspendues aux voûtes. Ils ont étudié également un modèle de borne en fonte à placer au dessus des ouvertures d'appel, afin d'éviter que les conduites ne s'obstruent par les poussières et les débris de toute nature, ou ne soient envahis par les eaux.

En terminant, MM. Geneste fils et Herscher font observer que l'exécution de leur projet n'entraverait en rien le service des Halles et qu'elle se ferait rapidement et à peu de frais.

II. — Examen et discussion des projets présentés.

La Sous-Commission a examiné ces projets.

Deux objections, dont une capitale, peuvent être faites au projet Nézeraux et Garlandat.

Le système de circulation qu'ils indiquent repose sur le double principe de l'appel et de l'insufflation.

En premier lieu, malgré l'avis contraire des auteurs du projet, il n'est pas douteux que, pour assurer le fonctionnement de leur système, il serait nécessaire de clore habituellement les ouvertures qui font communiquer le sous-sol avec l'extérieur. Il serait indispensable en particulier de fermer les entrées des escaliers. Cette mesure occasionnerait une gêne sérieuse dans le service.

En second lieu, la Sous-Commission a été d'avis qu'un simple lavage à l'eau dans le rafraîchisseur ne pourrait suffire pour transformer en air pur l'air vicié sortant des sous-sols. Après avoir traversé cet appareil, l'air retiendrait encore les vapeurs, les gaz et les miasmes organiques insolubles dans l'eau, et il conserverait certainement une odeur sensible.

Il n'y a d'ailleurs aucun intérêt à chercher à purifier l'air vicié au moyen d'un appareil spécial, quand il est facile de l'évacuer d'une manière définitive et de le remplacer par de l'air pur pris à l'extérieur.

Le projet de MM. Geneste fils et Herscher est étudié avec soin. Les auteurs ont adopté le système de ventilation par appel. Les baies des escaliers peuvent, par suite, rester ouvertes sans inconvénient, et le service des sous-sols ne subirait aucun trouble pour l'adoption du projet.

En plaçant les bouches d'appel au niveau du sol, elles seraient aussi près que possible des points d'infection, et l'air vicié se trouverait ainsi soumis à l'aspiration en un point où les vapeurs

et les gaz insalubres afflueraient naturellement en raison de leur densité.

D'autre part, les emplacements proposés pour les bouches d'appel sont mal choisis; il faudrait les modifier pour assurer d'une manière plus complète le renouvellement de l'air.

Les auteurs du projet ont étudié, avec soin et intelligence, les dispositions à donner aux conduites et aux bouches, dans le but de les mettre à l'abri des eaux et des obstructions.

Nous discuterons plus loin et par comparaison le système spécial proposé par MM. Geneste et Herscher pour produire l'appel dans les cheminées d'évacuation.

M. d'Hamelincourt s'est proposé d'utiliser la chaleur produite par les becs d'éclairage pour échauffer les cheminées d'évacuation et produire l'appel.

Ces becs brûlent 4 500 litres de gaz à l'heure. D'après M. d'Hamelincourt, l'évacuation d'air vicié correspondante serait de 7 000 mètres cubes à l'heure. Mais, des expériences faites par la Sous-Commission, il résulte que l'auteur du projet a adopté pour base de ses calculs une donnée inapplicable au cas spécial qui nous intéresse. L'évacuation produite par la combustion de 4 500 litres de gaz brûlé à l'intérieur d'une cheminée ne peut être évaluée qu'à 4 500 mètres cubes. Pour tenir compte du refroidissement qui s'opérerait forcément dans les conduites entre le foyer de combustion et la cheminée, il faudrait compter qu'on n'obtiendrait seulement qu'une évacuation de 2 000 à 2 500 mètres cubes à l'heure.

La disposition étudiée par M. d'Hamelincourt avait été également proposée par un membre de la Sous-Commission comme un moyen accessoire de produire l'appel. Dans cette limite, il pourrait être utilisé avec avantage, mais il faudrait nécessairement employer un procédé plus énergique pour produire l'appel principal.

M. d'Hamelincourt, comme MM. Geneste fils et Herscher, propose de prendre l'air vicié dans la partie basse des sous-sols, le plus près possible des foyers d'infection. Le principe est bon, mais la disposition qu'il indique pour l'établissement des conduites est compliquée et n'est pas admissible au point de vue architectural.

Remarquons enfin que, dans ce projet, le nombre des bouches d'appel est très-multiplié, et qu'il serait, par suite, à peu près impossible d'arriver à régler l'écoulement d'une manière égale entre ces ouvertures.

III. — Expériences de la Sous-Commission.

A la suite de cette discussion, la Sous-Commission a reconnu la nécessité de procéder à des expériences directes, pour constater la puissance de ventilation des cheminées existantes et pour déterminer le prix de revient de l'appel fait au moyen de la combustion du gaz dans ces cheminées.

Les expériences ont été faites sur une des cheminées du pavillon n° 11. Cette cheminée prenait naissance dans le sous-sol à la hauteur du plafond. Afin de profiter de toute la hauteur disponible, elle a été descendue, et, par les nouvelles dispositions prises, son orifice inférieur s'est trouvé placé à 0m,60 seulement au-dessus du niveau du dallage.

Un appareil à gaz composé de deux couronnes concentriques, contenant 33 becs dans un plan horizontal, a été placé à 0m,20 au-dessus de l'orifice inférieur de la cheminée. Cet appareil a été muni des robinets nécessaires pour allumer à volonté 17 becs ou 33 becs à la fois.

Un compteur à gaz a été installé pour mesurer la dépense.

Enfin des thermomètres ont été placés : au rez-de-chaussée des pavillons pour constater la température extérieure ; en divers points du sous-sol pour constater la température intérieure, et à l'intérieur de la cheminée, à 8 mètres environ au-dessus de l'orifice inférieur, pour obtenir la température de l'air évacué.

Le Conservatoire des arts et métiers a bien voulu mettre à la disposition de la Sous-Commission les instruments nécessaires aux expériences.

Ces expériences ont eu lieu les 11 et 12 février, par une température assez basse (+ 1 degré), mais, les dispositions restant prises, elles pourront être répétées par une température plus élevée.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Débit des cheminées d'appel des Halles centrales chauffées au moyen du gaz.

1° *Données.*

Les expériences ont été faites sur la cheminée du pavillon n° 11, placée à l'angle de la rue de Rambuteau et de la rue intérieure transversale.

Hauteur de la cheminée. 19m,80
Section à 8 mètres au-dessus du niveau du sol des caves. . . . 1mq,434

endiculaire à l'axe suivant MN

385 620 1,068 302 328

820

1,175

735

280

ordinaire 2,00

800

ompe et du

INT MICHE

ndiculaire à l'axe suivant MN

mpe et du

385 600 1.068 300 328 320 175 210 585 250 755 2.00 800

ite ordinaire






3 9015 06559 7836

III. Ligne de Vojtek à Bogsan :

Pages.

Indication sommaire des conditions d'exécution. 618

Tableau général de toutes les dépenses faites. 619

Tableaux indiquant le prix de revient des différentes parties du chemin. 621

IV. Tableau comparatif des dépenses des deux lignes. 623

V. Résultats généraux des deux lignes. 624

Observations sur les résultats généraux. 624

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Au moment où la question de l'établissement des chemins secondaires est de nouveau soumise partout à une étude approfondie, nous croyons qu'il peut être de quelque intérêt d'indiquer le mode suivi à cet égard en Hongrie, par la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État, qui vient de construire les deux lignes secondaires de Valkany à Perjamos et de Vojtek à Bogsan, venant s'embrancher sur la ligne principale du Sud-Est (Vienne-Pesth-Bazias).

Le partie du territoire hongrois desservie par cette ligne du Sud-Est, notamment celle comprise entre Pesth et Temesvar, est formée de plaines très-étendues, où le climat et la nature du sol sont très-favorables à la culture du blé et de la plus grande partie des céréales.

Sur tout ce parcours, les voies de communication sont dans un état de viabilité assez défectueux, et à l'exception des routes royales, qui sont rares, et de quelques routes provinciales qui ne desservent que les localités importantes, la circulation, difficile en été, devient à peu près impossible pendant la mauvaise saison.

Une des causes principales de cet état de choses est le prix élevé des matériaux d'empierrement de bonne qualité, qui varie de 10 à 15 francs par mètre cube. Les ressources du budget de l'État ou des comitats (provinces) sont insuf-

fisantes pour faire face aux frais d'un entretien normal aussi coûteux, et il est d'usage de faire les rechargements avec du sable ou du gravier terreux, qui ne tarde pas à disparaître dans l'épaisse couche de boue de la route.

Les produits agricoles destinés à l'exportation doivent donc être transportés aux stations de la voie ferrée pendant la courte période de saison sèche, comprise entre la fin des récoltes et l'entrée de l'hiver.

Durant ce temps, l'abondance des arrivages produit un mouvement très-actif dans les stations ; les emplacements de dépôts sont quelquefois insuffisants ; le matériel roulant, qui chôme en partie aux autres époques de l'année, ne suffit plus à ces besoins exceptionnels, et le commerce ne manque pas d'élever des réclamations sur la négligence du chemin de fer.

La nécessité de bonnes voies de communication aboutissant à la voie principale est, pour cette contrée comme pour les chemins de fer, plus évidente que partout ailleurs. Les matériaux d'empierrement étant en général trop coûteux, et l'entretien des routes occasionnant des frais exorbitants, la création de voies ferrées transversales à bon marché, dans les parties les plus productives ou dans celles où il se trouve des éléments industriels susceptibles de développement, paraît être la solution la plus économique et conciliant le mieux tous les intérêts.

L'établissement de ces embranchements aurait pour conséquence d'introduire une allure plus régulière dans le mouvement des marchandises, par suite de la possibilité de circuler au même prix en toute saison, et d'amener un accroissement de produits et d'affaires commerciales sur toute la zone desservie par la ligne principale, se traduisant par une augmentation de recettes.

L'intérêt de la Société autrichienne lui commande donc de prendre une part active au développement de ces lignes transversales.

Quant aux populations appelées à jouir des bienfaits de ces embranchements, elles en ressentent l'impérieuse nécessité; malheureusement leurs ressources limitées ne leur permettent pas d'apporter un concours bien efficace à leur construction. Ce concours s'est borné jusqu'à présent à la cession gratuite, par les communes et les particuliers, d'une partie des terrains et à quelques subventions insignifiantes.

Les sacrifices faits par les provinces tendent toutefois à devenir plus sérieux et, tout récemment, il a été proposé à la Société autrichienne de construire deux embranchements, moyennant une garantie d'intérêts au taux réduit de 5,2 p. 100 souscrite par l'administration provinciale. Cette nouvelle forme de coopération de la part des provinces est actuellement soumise à l'étude.

En ce qui touche l'État, le chiffre relativement élevé des subventions données aux grandes lignes, et la situation générale de ses finances, ne lui permettent pas de subventionner les lignes ne desservant que des intérêts locaux. Il a accordé ce qui pouvait être réclamé de lui, savoir : des simplifications importantes dans les conditions de construction et d'exploitation, et une exemption momentanée de taxes et d'impôts.

Malgré ces facilités, le manque d'industrie, l'absence de capitaux et l'état peu développé de l'esprit d'association et d'entreprise sont les motifs pour lesquels ces embranchements ne sont pas exécutés, comme dans d'autres pays, par des sociétés locales, et les grandes sociétés, possédant déjà les lignes de long parcours, sont seules en état de les entreprendre.

Deux circonstances d'ailleurs rendent possible l'exécution de quelques lignes de cette nature par la Société autrichienne: c'est d'abord la configuration favorable du terrain, et ensuite le prix élevé des transports sur les routes et chemins ordinaires, prix permettant de maintenir, sur les

chemins de fer secondaires, des tarifs assez élevés pour atteindre un chiffre de produit net suffisamment rémunérateur. On paye en moyenne pour les transports par route, de $0^{f},17$ à $0^{f},20$ par 50 kilogrammes et par mille, ce qui donne de $0^{f},45$ à $0^{f},55$ par tonne et par kilomètre.

Les trois classes de tarifs approuvés pour les lignes secondaires sont : $0^{f},05$, $0^{f},07$, $0^{f},10$ par 50 kilogrammes et par mille, ce qui équivaut à $0^{f},135$, $0^{f},19$ et $0^{f},265$ par tonne et par kilomètre.

La différence avec le prix de transport par route, par tonne kilométrique, varie de $0^{f},367$ à $0^{f},492$ pour la plus grande partie des transports, d'où il suit que l'économie réalisée par la contrée est de trois à quatre fois supérieure à la recette du chemin de fer. Ces tarifs pourraient donc, dans certains cas, être augmentés, pour permettre la réalisation, au point de vue financier, de lignes transversales réclamées à juste titre comme indispensables au développement de la prospérité du pays. Du reste, sur ces lignes de faible parcours, les tarifs élevés s'appliquant à de petites distances, ne grèvent pas beaucoup les marchandises destinées à l'exportation.

Sur les sollicitations des populations intéressées, la Société autrichienne a entrepris l'exécution des deux premières lignes secondaires de Valkany à Perjamos et de Vojtek à Bogsan, dont les longueurs sont respectivement de 43.353 mètres et de 47.367 mètres. Après mûr examen des frais de construction et d'exploitation, elle s'est décidée à maintenir pour ces lignes la largeur de voie normale, avec un rail léger et une plate-forme réduite à 4 mètres. Dans un terrain facile l'emploi de la voie étroite ne réduirait pas beaucoup la dépense, et il exigerait la création d'un matériel roulant spécial assez coûteux, ce que l'on tenait à éviter, afin d'employer sur les embranchements le vieux matériel de la grande ligne. Nous indiquons ci-après leur mode d'établissement.

I. — Conditions spéciales des actes de concession des lignes secondaires.

Les stipulations particulières introduites, sur la proposition de la Société autrichienne, dans les actes de concession des chemins secondaires en Hongrie, afin de réduire à leur minimum les dépenses de premier établissement, se résument principalement dans les points suivants :

1) Exonération des impôts et taxes pendant une durée de trente ans.

2) Diminution de largeur de la plate-forme de la voie et autorisation de construire, au gré de la Société, les ouvrages d'art en bois.

3) Réduction du poids du rail, des dimensions des traverses et de l'épaisseur du ballast.

4) Simplification des dispositions des gares et stations, tant pour les voies que pour les bâtiments.

5) Suppression de la plus grande partie des maisons de garde, de la surveillance des passages à niveau et des clôtures de la voie.

Par contre, la vitesse moyenne des trains a été limitée à $18^k,75$ à l'heure. Cette restriction est la conséquence des facilités spéciales énumérées précédemment.

En dehors de l'exemption d'impôts, l'État n'a accordé aucune garantie d'intérêts aux chemins secondaires.

Les conditions libérales consenties par l'État pour la construction proprement dite étaient d'ailleurs impérieusement commandées par le chiffre limité des recettes prévues.

Dans la plus grande partie de la zone traversée par la ligne principale du Sud-Est, il y a très-peu d'industrie, les produits agricoles représentent la plus grande somme des marchandises que les lignes transversales sont appelées à transporter, et leur tonnage est d'une importance très-variable.

La circulation sur ces embranchements, établis dans des contrées dépourvues d'industrie, n'est susceptible que de progrès très-lents et très-limités. L'augmentation du trafic ne peut provenir que du développement industriel, et en général les éléments font défaut sous ce rapport.

Ce serait se faire illusion que d'espérer pour ces petites lignes des résultats analogues à ceux obtenus sur les grandes lignes, au point de vue des progrès du trafic.

Il est donc d'une nécessité absolue, sous peine de dépenser sans fruit des capitaux plus ou moins importants, d'observer dans la construction de ces lignes les règles de la plus stricte économie.

Les deux chemins de Valkany à Perjamos et de Vojtek à Bogsan, dont nous indiquerons plus loin les prix de revient, ont été établis d'après ces principes. Les indications que nous donnons n'offrent, il est vrai, aucun intérêt au point de vue technique : car il ne s'agit pas de solution donnée à des difficultés d'exécution, mais elles peuvent avoir leur utilité en faisant ressortir les prix très-réduits auxquels ces embranchements peuvent être établis, en profitant de toutes les facilités offertes par l'acte de concession et en s'écartant sensiblement des types de nos lignes principales.

II. — Ligne secondaire de Valkany à Perjamos.

INDICATION DES CONDITIONS PRINCIPALES D'ÉTABLISSEMENT.

Date de l'ouverture. — Les travaux de cette ligne, commencés dès le mois de mars 1870, ont été terminés dans une seule campagne, et l'ouverture à l'exploitation a pu avoir lieu le 26 octobre de la même année.

La longueur totale de la ligne est de 43.358 mètres.

Tracé. — Il se détache de la station de Valkany, située entre Szegedin et Temesvar (voir la carte, *fig.* 1, Pl. 13),

et se dirige vers Perjamos, en remontant la vallée de la Maros, sans toutefois traverser l'Aranka, bras mort de la Maros, qui sert de déversoir en temps d'inondation.

Sur tout ce parcours le terrain ne présente que des ondulations sans importance, et se trouve pour un tracé de chemin de fer dans des conditions très-favorables.

Les inflexions du tracé ont surtout été motivées par la condition, importante surtout pour les lignes secondaires, de rapprocher autant que possible les stations des localités à desservir. Ces stations sont au nombre de cinq, savoir : Bessenova, Sz. Miklos, Szaravola, Rácz Sz. Peter et Perjamos.

Sur quelques points il a été aussi nécessaire d'infléchir le tracé, afin de ne pas franchir inutilement l'Aranka. Ce cas s'est présenté notamment entre Szaravola et Rácz Sz. Peter.

Terrains. — Les terrains nécessaires pour la voie courante et les emplacements des stations ont été cédés gratuitement à la Société autrichienne par les communes traversées. La commune d'Egres seule a fait exception, à cause de son éloignement du tracé.

Sur la surface totale occupée, s'élevant à 114 hectares 79 ares, la Société n'a eu à acquérir que la partie située sur le territoire de cette commune et comprenant seulement 1 hectare 66 ares.

Cette acquisition n'a coûté que 3.075 francs, soit 1.852 francs par hectare.

La largeur moyenne des emprises est de $26^m,47$, y compris les emplacements des stations.

Profil en long. Alignements et courbes. — Les déclivités du profil sont presque nulles. La différence de niveau entre les deux extrémités de la ligne n'est que de $15^m,19$, ce qui donne une pente moyenne de $0^m,00035$. En réalité, la plus forte déclivité est de $0^m,0025$.

La configuration uniforme du terrain a permis de main-

tenir des alignements d'une grande longueur. Sur le développement total de de 43.353 mètres, les parties en courbe ne s'étendent que sur 4.336^{m},19, soit sur 10 p. 100 du parcours total.

Les courbes sont au nombre de seize, dont dix de 1.000 mètres, deux de 600 mètres, deux de 500 mètres et deux de 400 mètres de rayon. Ces dernières ont été appliquées aux abords des stations, afin de placer celles-ci dans une situation avantageuse relativement aux localités qu'elles desservent.

Terrassements et ouvrages d'art. — Les dimensions du profil en travers prescrit par l'acte de concession sont indiquées sur les *fig.* 5 et 6.

La plate-forme a été maintenue en remblai sur tout le parcours. Cette condition, d'une réalisation facile dans un terrain aussi uniforme, a rendu l'exécution des terrassements économique et rapide, en permettant de les entreprendre simultanément sur toute la ligne, par voie d'emprunts latéraux et sans matériel spécial de transport.

La largeur d'emprise n'exerce ici aucune influence sur les prix d'exécution, puisque les terrains ont été cédés gratuitement.

Le cube total des terrassements s'est élevé à 197.000^{m},13, soit en moyenne 4^{m},545 par mètre courant.

Les travaux d'art sont sans importance. En voici le détail : sept ponceaux de 2 mètres, quatorze aqueducs de 1 mètre, onze aqueducs de 60 centimètres. Ces ouvrages ont été construits avec voûte en briques quand la hauteur du remblai était suffisante, sinon ils se composent de deux culées supportant des poutres en bois placées sous les rails.

Voie et ballastage. — Le poids du rail est, conformémément à l'acte de concession, de 25^{k},30 par mètre courant (*). Dans ces dimensions sa résistance suffit pour le

(*) Les éclisses pèsent 3^{k},50 l'une; les boulons 0^{k},41 et les crampons 0^{k},31.

passage des voitures et wagons de la ligne principale, ce qui dispense de créer un matériel spécial. Le rail en fer de la ligne principale pesant 37 kilogrammes, la réduction de poids est de $11^k,70$ par mètre courant, et représente une économie assez notable (*fig.* 2 et 3).

Les traverses ont aussi des dimensions plus faibles que celles de la ligne principale. Ces dimensions sont : $2^m,35$ de longueur, $0^m,13$ d'épaisseur et $0^m,22$ à $0^m,24$ de largeur.

Le ballast revient dans cette partie de la Hongrie à un prix relativement élevé, et il y avait intérêt à le réduire au plus strict nécessaire. Les dimensions adoptées de $2^m,80$ pour la largeur en couronne, et de $0^m,25$ pour l'épaisseur, donnent un cube de $0^m,76$ par mètre courant de voie simple, abstraction faite du volume des traverses.

Les détails relatifs à la superstructure sont indiqués dans un tableau séparé (page 624) et font ressortir le prix de revient total par mètre linéaire de chemin à $42^f,62$.

Bâtiments et divers. — Les installations des stations sont réduites à leur plus simple expression. Le type généralement employé est représenté (*fig.* 13) par le plan de la station de Gattaja.

La simplicité du mode de construction en usage dans la contrée traversée a permis d'appliquer des types extrêmement simples pour les bâtiments à voyageurs et les maisons de garde. Ces types sont indiqués par le dessin des *fig.* 17 et 18 pour les stations de Sz. Miklos et de Perjamos. Les hangars à marchandises sont en bois.

Deux petites remises de machines, avec logement (*fig.* 19) ont été établies aux stations extrêmes, avec des réservoirs d'alimentation (*fig.* 15 et 16). Il existe en outre une prise d'eau de réserve à la station de Sz. Miklos, située à peu près au milieu du parcours.

Locomotives. — Par suite de la réduction du poids du rail, on a dû créer, pour le service des lignes secondaires,

des locomotives spéciales dont le poids par essieu ne dépasse pas sensiblement celui des essieux de wagons à marchandises en pleine charge. Elles sont construites sans tender, à trois essieux accouplés, et portent leurs approvisionnements d'eau et de charbon dans des compartiments parallèles à la chaudière. A la vitesse ordinaire de 15 kilomètres fixée pour ce chemin, ces machines peuvent remorquer un poids brut de 400 tonnes.

Ces machines sont au nombre de trois. Le prix de revient par machine s'est élevé à 42.500 francs.

Dépenses. — On a indiqué dans les tableaux qui suivent les prix de revient que l'on fait habituellement ressortir dans les statistiqués des travaux neufs.

La dépense totale y compris les intérêts pendant la construction et 3 locomotives spéciale, s'élève à 2.743.567f,12, soit par kilomètre à 63.277f,05.

LIGNE DE VALKANY A PERJAMOS.

Tableau général de toutes les dépenses faites.

NATURE DES DÉPENSES.	DÉPENSES générales — partielles.	DÉPENSES générales — totales.	DÉPENSES kilométriques — partielles.	DÉPENSES kilométriques — totales.
	francs.	francs.	francs.	francs.
Frais généraux.				
Personnel, frais d'études, etc. . .	113.205,48	113.205,48	2.610,93	2.610,93
Mobilier d'exploitation.				
Mobilier des gares.	12.154,33	12 154,33	280,33	280,33
Acquisition de terrains.	18.423,13	18.423,13	424,93	424,93
Terrassements et ouvrages d'art.				
Travaux de terrassements. . . .	197.649,40	242.873,02	4.558,55	5.601,57
Ouvrages d'art.	45.223,62		1.013,02	
Ballastage.	143.091,07	143.091,07	3,300,22	3.300,22
Établissement des voies.				
Rails.	996.523,43	1.706.055,02	22.983,60	39.348,10
Autres matériaux métalliques. .	108.801,92		2.509,37	
Traverses, bois spéciaux, etc. . .	158.509,22		3.655,83	
Sabotage, pose des voies, transports.	382.974,52		8.832,85	
Croisements, changements, plaques tournantes.	48.192,33		1.111,50	
Divers.	11.053,60		254,95	
Bâtiments et accessoires.				
Stations.	202.086,37	380.265,07	4.660,30	8.770,35
Maisons de garde, barrières, etc.	58.549,10		1.350,38	
Télégraphe, signaux, etc.	21.007,12		484,50	
Constructions relatives aux alimentations d'eau.	89.633,95		2.067,30	
Divers.	9.018,53		207,87	
Matériel roulant.				
Trois locomotives spéciales. . . .	127.500,00	127.500,00	2.940,62	2.940,62
Totaux.		2.743.567,12	. . . . . .	63.277,05

LIGNE DE VALKANY À PERJAMOS.

Acquisition de terrains.

INDICATION DES OBJETS.	TOTAUX.
Longueur du chemin.	43.358^{m},00
Nombre des communes traversées.	8
Superficie des terrains achetés.	1^{h},66^{a}
— — reçus gratuitement.	113 13
Largeur moyenne des emprises.	26^{m},47
Montant des indemnités payées.	3.075^{f},00
Prix moyen de 1 hectare acheté.	1.852 ,50
Dépenses accessoires.	15.348 ,12
Dépense totale.	18.423 ,12
Dépense moyenne par hectare.	160 ,47
Dépense moyenne par kilomètre.	425 ,00

Terrassements et ouvrages d'art.

DÉSIGNATION.	DÉPENSES		TERRASSEMENTS.			OUVRAGES D'ART.		
			CUBE		PRIX			PRIX
	totales.	kilo-métri-ques.	total.	par mètre linéaire.	par mètre cube.	Nombre.	Somme des ouvertures.	par mètre d'ou-verture.
	francs.	francs.			fr.			francs.
Terrassements.	197.649,40	4.558,55	197.060,13	4,545	1,00	»	»	»
Ouvrages d'art.	45.223,62	1.043,02	»	»	»	32	36,00	1.256,20
Totaux. .	242.873,02	5.601,57	197.060,13	4,545	1,00	32	36,00	1.256,20

LIGNE DE VALKANY A PERJAMOS.

ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE.

I. — Longueur des voies posées.

	mètres.
1° Pour la voie unique du chemin.	43.358,00
2° Voies de garage dans les stations, y compris celles de la station d'embranchement à la charge du chemin secondaire.	3.927,00
Longueur totale.	47.285,00

Longueur des voies par mètre linéaire de chemin $\frac{47.285,00}{43.358,00} = 1,090.$

II. — Prix d'un mètre linéaire de voie.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	PRIX.	DÉPENSES.	OBSERVATIONS.
Une travée de 7 mètres.		francs.	francs.	
Rails. . . . $(2 \times 7) \times 25^{k},3$ la tonne.	354,20	419,12	148,45	
Eclisses. . 4 × 3,5	14,00	419,12	5,87	
Boulons. . 8 × 0,41	3,28	852,50	2,80	
Crampons. 32 × 0,31	9,92	550,00	5,45	
Traverses non carbonisées. la pièce.	8,00	3,00	24,00	
Ensemble pour une longueur de 7 mètres. . . .			186,57	
Soit pour 1 mètre linéaire environ.			26,67	
Pose des voies, transports et divers accessoires.			8,13	
Ensemble.			34,80	
Et si l'on y ajoute le ballastage.			3,02	
On trouve le prix total du mètre linéaire de voie.				37,82
Ajoutant les dépenses pour changements de voie, plaques tournantes et divers.				1,27
On trouve la dépense totale indiquée ci-après.				39,09

III. — Dépense par mètre linéaire.

NATURE DES OUVRAGES.	DÉPENSE totale.	DÉPENSE par mètre linéaire		OBSERVATIONS.
		de chemin.	de voie.	
	francs.	francs.	francs.	
Ballastage.	143.091,07	3,30	3,02	
Etablissement des voies.	1.706.055,02	39,32	36,07	
Totaux.	1.849.146,09	42,62	39,09	

LIGNE DE VALKANY A PERJAMOS.

STATIONS.

Tableau des dépenses de toute nature.

DÉSIGNATION des stations.	DÉPENSES pour les diverses constructions.			DÉPENSES pour les voies de garage, matériel, etc.			DÉPENSES totales.
	Bâtiments pour le service des voyageurs.	Bâtiments pour le service des marchandises et divers.	Ensemble.	Doubles voies, changements, plaques tournantes, etc.	Matériel et mobilier.	Ensemble	
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
Valkany, station d'embranchement, part contributive.	29.995.00	42.432.55	72.427,55	63.498,40	1.340,00	64.838,40	137.265,95
senova.	15 105,90	8.550,00	23.655,90	28.930,40	1.946,77	30.877,17	54.533.07
Sz. Miklos.	21.090.00	58.352.32	79.442,32	38.674,25	2.378,25	41.052,50	120.494,82
ravola.	15.105,90	8.550,00	23.655,90	20.664,65	1.946,77	22.611,42	46.267,32
Peter.	15.105.90	8.550.00	23.655.90	16.444,25	1.946,77	18.391,02	42.046,92
jamos.	21.090,00	56.776,27	77.866,27	51.722,32	2.595,75	54.318,07	132.184,34
Totaux.	117.492,70	183.211,14	300.703,84	219.934,27	12.154,31	232.088,58	532.792,42

Dans les dépenses afférentes à la station d'embranchement de Valkany est comprise la participation aux dépenses de la ligne principale, s'élevant à 29.995 francs.

État des dépenses du matériel de la voie et des alimentations.

QUANTITÉS.	DÉSIGNATION DES OBJETS.	MONTANTS partiels.	MONTANTS totaux.	DÉPENSE par kilomètre de ligne.
	Matériel de voie.	francs.		
18	Changements (tang 0,128).	30.233,52	francs.	francs.
2	Plaques tournantes, 4m.68 de diamètre.	17.958,80	48.192,32	1.111,47
	Alimentations.			
3	Réservoirs à fond sphérique, de 6m,5 de diamètre.	20.283,08		
3	Pompes à vapeur de 2 chevaux. . . .	24.188,47		
4	Grues hydrauliques.	4.147,80		
350 mètres.	De conduite d'eau de 105 millimètres de diamètre.	3.660,30		
	Robinets, bornes-fontaines, etc. . . .	1.663,00		
3	Bâtiments d'alimentation de 64 mètres carrés, avec puits.	35.691,30	89.633.95	2.067,30
	Totaux.		137.826,27	3.178,77

III. — Ligne secondaire de Vojtek à Bogsan.

INDICATION SOMMAIRE DES CONDITIONS D'EXÉCUTION.

Cette ligne, d'une longueur de 47.367 mètres, a été construite d'après le même type que celle de Valkany à Perjamos dont nous venons de donner la description. Concédée à la Société autrichienne le 5 janvier 1873, elle a été ouverte à l'exploitation le 5 septembre 1874.

En dehors de la station d'embranchement de Vojtek, les stations de cette ligne sont au nombre de six, savoir : Gattaya, Moritzfeld, Gyertenies, Zsidorin, Roman-Bogsan et Deutsch-Bogsan.

Tout en desservant les intérêts agricoles et industriels de la contrée traversée, cet embranchement a eu aussi pour but, par sa jonction à Deutsch-Bogsan avec le chemin de mines de Reschitza à Eisenstein, de mettre les usines importantes de Reschitza en communication non interrompue, par voie ferrée, avec la ligne principale. (Voir *fig.* 14 le plan de la station commune de D. Bogsan.)

De même que pour la ligne de Valkany à Perjamos, une partie des terrains a été cédée gratuitement, et le rayon minimum des courbes a pu être maintenu à 400 mètres ; mais par suite de la configuration plus accidentée du terrain, les déclivités sont plus fortes, sans toutefois dépasser $0^m,008$; le mouvement des terres est plus considérable et le nombre des ouvrages d'art plus grand. Nous citerons notamment parmi ces derniers le pont en bois de la Bersava, de 48 mètres de débouché. (Voir les *fig.* 8, 9, 10, 11 et 12.)

Les tableaux suivants, analogues à ceux de la première ligne, indiquent les résultats obtenus dans l'établissement de celle de Vojtek à Bogsan.

LIGNE DE VOJTEK A BOGSAN.

Tableau général de toutes les dépenses faites.

NATURE DES DÉPENSES.	DÉPENSES générales		DÉPENSES kilométriques	
	partielles.	totales.	partielles.	totales.
	francs.	francs.	francs.	francs.
Frais généraux.				
Personnel, frais d'études, etc.	298.997,60	298.997,60	6.312,37	6.312,37
Mobilier d'exploitation.				
Mobilier des gares	23.463,20	23.463,20	495,33	495,33
Acquisition de terrains	75.892,10	75.892,10	1.602,20	1.602,20
Terrassements et ouvrages d'art.				
Travaux de terrassement	493.940,23	739.708,05	10.427,03	15.616,55
Ouvrages d'art	245.767,82		5.188,62	
Ballastage	97.813,85	97.813,85	2.065,03	2.065,03
Établissement des voies.				
Rails	866.637,50	1.401.205,25	18.296,22	29.581,87
Autres matériaux métalliques	71.560,00		1.510,80	
Traverses, bois spéciaux, etc.	163.806,85		3.458,25	
Sabotage, pose des voies, transports, etc.	206.980,78		4.369,70	
Croisements, changements, plaques tournantes	37.732,87		796,60	
Divers	54.487,25		1.150,30	
Bâtiments et accessoires.				
Stations	251.339,22	417.453,87	5.306,20	8.813,17
Maisons de garde, barrières, etc.	75.468,83		1.593,27	
Télégraphe, signaux, etc.	23.130,20		488,32	
Constructions relatives aux alimentations d'eau	63.006 77		1.330,18	
Divers	4.508,85		95,20	
Matériel roulant.				
Deux locomotives spéciales	105.768,93	105.768,93	2.232,98	2.232,98
Totaux		3.160.302,85		66.719,50

LIGNE DE VOJTEK A BOGSAN.

Acquisition de terrains.

INDICATION DES OBJETS.	TOTAUX.
Longueur du chemin.	47.367m,00
Nombre des communes traversées.	8
Superficie des terrains achetés.	46h,37
Superficie des terrains reçus gratuitement.	56 ,70
Largeur moyenne des emprises.	21m,76
Montant des indemnités payées.	54.289f,45
Prix moyen d'un hectare acheté.	1.175 ,00
Dépenses accessoires.	21.602 ,65
Dépense totale.	75.892 ,10
Dépense moyenne par hectare.	736 ,30
Dépense moyenne par kilomètre.	1.600 ,00

Terrassements et ouvrages d'art.

DÉSIGNATION.	DÉPENSES		TERRASSEMENTS.			OUVRAGES D'ART.		
	totales.	kilométriques.	CUBE total.	CUBE par mètre linéaire.	PRIX par mètre cube.	Nombre.	Somme des ouvertures.	PRIX par mètre d'ouverture.
	francs.	francs.			fr.			francs
Terrassements.	493.940,23	10.427.95	374.680,51	7,73	1,32	»	»	»
Ouvrages d'art.	245.767,82	5.188,57	»	»	»	81	196,6	1.250,07
Totaux. . . .	739.708,05	15.616,52	374.680,51	7,73	1,32	81	196,6	1.250,07

LIGNE DE VOJTEK A BOGSAN.

ÉTABLISSEMENT DES VOIES.

I. — Longueur des voies posées.

	francs.
1° Pour la voie unique du chemin.	47.367,00
2° Voies de garage dans les stations, y compris celles de la station d'embranchement à la charge du chemin secondaire.	5.196,65
Longueur totale.	52.563,65

Longueur des voies par mètre linéaire de chemin $\frac{52.563,65}{47.367,00} = 1,109$.

II. — Prix d'un mètre linénaire de voie.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	PRIX.	DÉPENSES	OBSERVATIONS.
Une travée de 7 mètres.		francs.	francs.	
Rails. . . . (2 × 7) × 25^{k},3 la tonne.	354,20	315,00	111,57	
Eclisses.. . 4 × 3,5	14,00	315,00	4,41	
Boulons. . 8 × 0,41	3,28	600,00	1.97	
Crampons. 32 × 0,31	9,92	500,00	4,96	
Traverses carbonisées. . . . la pièce.	8	3,07	24,56	
Ensemble pour une longueur de 7 mètres, . . .			147,47	
Soit pour 1 mètre linéaire.			21,02	
Pose des voies, transport et divers accessoires.			3,90	
Ensemble.			24,92	
Et si l'on y ajoute le ballastage.			1,85	
On trouve le prix total du mètre linéaire de voie.				26,77
Ajoutant les dépenses pour changements de voie, plaques tournantes et divers.				1,75
On trouve la dépense totale indiquée ci-après.				28,52

III. — Dépense par mètre linéaire.

NATURE DES OUVRAGES.	DÉPENSE totale.	DÉPENSE par mètre linéaire de chemin.	DÉPENSE par mètre linéaire de voie.	OBSERVATIONS.
	francs.	francs.	francs.	
Ballastage.	97.813,85	2,07	1.85	
Établissement des voies.	1.401.205,25	29,58	26,67	
Totaux.	1.499.019.10	31,65	28,52	

LIGNE DE VOJTEK A BOGSAN.

STATIONS.

Tableau des dépenses de toute nature.

NUMÉROS D'ORDRE.	DÉSIGNATION des stations.	DÉPENSES pour les diverses constructions.			DÉPENSES pour les voies de garage, matériel, etc.			DÉPENS[ES] totale[s]
		Bâtiments pour le service des voyageurs.	Bâtiments pour le service des marchandises et divers.	Ensemble.	Doubles voies, changements, plaques tournantes, etc.	Matériel et mobilier.	Ensemble.	
		francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	fran[cs].
1	Vojtek, station d'embranchement, part contributive.	24.706,55	44.656,94	69.363,49	50.855,17	2.884,68	53.739,85	123.10[illegible]
2	Gattaja.	20.163,03	32.951,52	53.114,55	23.170,58	2.871,25	26.041,83	79.15[illegible]
3	Moritzfeld.	20.163,02	10.492,77	30.655,79	22.486,65	2.893,42	25.380,07	56.03[illegible]
4	Gertenyes.	20.163,02	10.492,77	30.655,79	21.044,37	2.893,42	23.937,79	54.59[illegible]
5	Zsidovin.	20.163,02	10.492,77	30.655,79	22.821,47	2.893,42	25.714,89	56.37[illegible]
6	Roman-Bogsan.	20.163,02	10.492,77	30.655,79	22.023,07	2.893,42	24.916,49	55.57[illegible]
7	Deutsch-Bogsan.	20.163,02	53.590,60	73.753,62	81.749,92	6.133,57	87.883,49	161.63[illegible]
	Totaux.	145.684,68	173.170,14	318.854,82	244.151,23	23.463,18	267.614,41	586.46[illegible]

Dans les dépenses afférentes à la station d'embranchement de Vojtek est comprise la participation aux dépenses de la ligne principale, s'élevant à 30.774f,07.

État des dépenses du matériel fixe de la voie et des alimentations.

QUANTITÉS.	DÉSIGNATION DES OBJETS.	MONTANTS partiels.	MONTANTS totaux.	DÉPENSE par kilomètre de ligne.
	Matériel de voie.	francs.		
29	Changements (tang 0,128).	27.521,75		
1	Plaque tournante de 4m,68 de diamètre.	10.211,13	francs. 37.732,88	francs. 796,60
	Alimentations.			
3	Réservoirs à fond sphérique de 4,8 de diamètre.	11.808,32		
1	Pompe à vapeur de 2 chevaux. . . .	8.687,65		
2	Pompes à bras avec deux volants. .	2.970,07		
4	Grues hydrauliques.	4.308,00		
500 mètres	De conduite d'eau de 105 millimètres de diamètre.	5.833,98		
	Robinets, bornes-fontaines, etc. . . .	1.311,25		
3	Bâtiments d'alimentation de 23mq,50 avec puits.	28.087,50	63.006,77	1.330,17
	Totaux.		100.739,65	2.126,77

IV. Tableau comparatif des dépenses totales et kilométriques des deux lignes : Valkany à Perjamos et de Vojtek à Bogsan.

CHAPITRES.	ARTICLES DE DÉPENSES.	VALKANY-PERJAMOS, 43 kilom. 358 mèt. — DÉPENSES D'EXÉCUTION — totales.	VALKANY-PERJAMOS, kilométriques.	VOJTEK-BOGSAN, 47 kilom. 367 mèt. — DÉPENSES D'EXÉCUTION — totales.	VOJTEK-BOGSAN, kilométriques.
		francs.	francs.	francs.	francs.
28	Frais d'études et de direction de travaux.	58.500,89	1.349,25	163.050,55	3.442,27
29	Acquisition de terrains, honoraires.	18.423,13	424,90	75.892,10	1.602,20
30	Terrassements, y compris ceux des stations.	191.399,40	4.414,40	488.616,35	10.315,55
31	Travaux d'art.	43.973,72	1.014,20	244.106,80	5.153,52
32	Voie et ballastage.	1.797.896,10	41.466,30	1.448.163,92	30.573,27
33	Bâtiments des stations. . .	181.074,90	4.176,27	225.074,00	4.751,70
33	Alimentations, grues, conduites d'eau.	89.633,95	2.067,30	63.006,77	1.330,18
33 et 35	Maisons de garde, passages à niveau.	57.299,10	1.321,53	71.639,22	1.512,43
34	Mobilier des stations. . . .	10.904,32	251,50	22.078,45	466,13
36	Télégraphe à un fil.	21.007,12	484,50	22.783,70	481,00
46	Mise en train de l'exploitation	1.099,27	25,35	16.660,18	351,75
39	Matériel roulant, locomotives.	127.500,00	2.940,63	105.768,93	2.232,95
»	Part contributive de la station de raccordement. .	91.250,00	2.104,57	94.175,00	1.988,20
»	Intérêts pendant la construction.	53.605,22	1.236,35	119.286,88	2.518,35
	Totaux.	2.743.567,12	63.277,05	3.160.302,85	66.719,50

V. Résultats généraux des deux lignes : Valkany-Perjamos et Vojtek-Bogsan.

DÉSIGNATION DES OBJETS.	VALKANY-PERJAMOS.	VOJTEK-BOGSAN.	ENSEMBLE.
Longueur totale du chemin	43.358m,00	47.367m,00	90.725m,00
I. Acquisition de terrains.			
Largeur moyenne des emprises	26m,47	21m,76	24m,013
Prix moyen de l'hectare, tous frais accessoires compris	160f,47	736f,30	432f,90
II. Terrassements.			
Cube total des terrassements	197.060m,13	374.680m,51	571.740m,64
Cube moyen par mètre courant	4m,545	7m,73	6m,302
Prix moyen par mètre cube de terrassement	1f,000	1f,32	1f,21
III. Ouvrages d'art.			
Nombre total des ouvrages	32	81	113
Ouvertures, ensemble	36m,00	196m,60	232m,60
Ouverture moyenne par kilomètre	0m,744	4m,183	2m,563
Prix moyen par mètre linéaire d'ouverture	1.256f,20	1.250f,07	1.251f,02
Prix moyen par kilomètre	1.043 ,02	5.188 ,57	3.207f,40
IV. Voies de fer.			
Prix d'un mètre linéaire de voie, ballast compris	39f,09	28f,52	33f,53
Longueur des voies posées par rapport à la longueur du chemin	1m,090	1m,109	1m,100
Dépense par mètre linéaire de chemin	42f,62	31f,65	36f,90
V. Stations.			
Nombre des stations	5	6	11
Espacement moyen des stations	8.520,00	7.800,00	8.127,00

Observations sur les résultats précédents.

Les chiffres qui précèdent font voir que par l'application de types économiques en rapport avec les besoins limités de l'exploitation et la charge des trains, les frais de construction peuvent être maintenus dans des limites très-restreintes.

La dépense kilométrique de 65.000 francs pour les lignes secondaires ne doit toutefois être admise comme base d'évaluation que dans le cas où le terrain est favorable et ne présente pas de difficultés sérieuses pour l'exécution.

En ce qui concerne les deux lignes que nous considérons,

les conséquences à tirer des tableaux qui précèdent peuvent se résumer ainsi qu'il suit :

Terrains. — La largeur des emprises est de 26^m,47 pour Valkany-Perjamos, et de 21^m,76 pour Vojtek-Bogsan. L'excédant relatif à la première ligne vient de ce que les terrains ayant été cédés gratuitement à peu près en totalité, les dimensions ordinaires des banquettes, les surfaces des stations, etc., ont été un peu augmentées.

La cession gratuite des terrains dans la plus grande proportion possible est un avantage des plus importants, non-seulement au point de vue économique, mais aussi à celui des facilités qui en résultent pour l'exécution rapide des travaux.

Terrassements. — La comparaison des cubes moyens par mètre linéaire et des prix de revient par mètre cube donne quelques différences, qui s'expliquent :

1° Pour le cube moyen, qui est plus grand pour Vojtek-Bogsan que pour Valkany-Perjamos, par la nature plus accidentée du terrain sur cette première ligne ;

2° Pour le prix de revient, par la nécessité de l'emploi d'un matériel spécial de transport et l'importance plus grande des mouvements de terres. Cette différence n'est toutefois que de 1^f,32 — 1^f,00 = 0^f,32.

Ouvrages d'art. — Le nombre des ouvrages a été beaucoup plus grand pour Vojtek-Bogsan que pour Valkany-Perjamos. On remarquera que le prix par mètre linéaire d'ouverture est resté sensiblement le même sur les deux lignes.

La dépense kilométrique est environ cinq fois plus grande pour Vojtek-Bogsan que pour Valkany-Perjamos. Cela tient à ce que cette dernière ligne se trouvait sous ce rapport dans des conditions exceptionnellement favorables.

Voie. — Les longueurs totales des voies posées, comparées à celles des lignes, sont :

1.090 pour Valkany-Perjamos,
1,109 pour Vojtek-Bogsan.

Ces proportions sont sensiblement les mêmes.

Les prix par mètre linéaire de chemin sont : 42f,62 pour Valkany-Perjamos et 31f,65 pour Vojtek-Bogsan. Ce dernier prix est bien inférieur à l'autre, par suite d'une réduction sur le prix des rails, et de l'économie réalisée sur la fourniture du ballast par l'ouverture d'une ballastière à Bogsan.

Stations. — Le nombre des stations est de cinq sur Valkany-Perjamos, et de six sur Vojtek-Bogsan. Les prix de revient kilométrique sont de 4.176f,27 pour la première ligne, et de 4.751f,70 pour la seconde ligne. Cette différence est peu importante, et vient de ce que sur Valkany-Perjamos on a appliqué dans trois stations un type de dimensions plus petites que celles du type normal.

Les surfaces occupées et les dispositions des voies permettent toutes les extensions que l'augmentation du trafic pourrait ultérieurement rendre nécessaires.

Dépenses totales. — La dépense kilométrique est :

	francs.
Pour Valkany-Perjamos.	63.275,07
Pour Vojtek-Bogsan.	66.719,50
Différence.	3.444,43

Cette différence s'explique par les travaux beaucoup plus importants de l'infrastructure, dont l'excédant toutefois a été en grande partie compensé par les économies réalisées sur la voie et le ballastage.

N° 29

DÉTERMINATION DE LA PRESSION

DANS LES

CHAUDIÈRES A VAPEUR CYLINDRIQUES

Board of Trade, août 1874 (*).

INSTRUCTIONS
POUR LES CONTRÔLEURS.

Le *Board of Trade* a été fréquemment prié de publier le détail des règles qui guident ses conseillers dans la fixation de la pression des chaudières à vapeur. Ces règles ont été réunies dans la présente circulaire pour servir aux ingénieurs et aux constructeurs de chaudières.

Quand les chaudières sont construites avec les meilleurs matériaux, que *tous* les trous de rivets ont été percés au foret, sur place, que *toutes* les coutures sont pourvues de doubles couvre-joints ayant au moins les $\frac{5}{8}$ de l'épaisseur des tôles qu'ils recouvrent, que *toutes* les coutures ont au moins deux rangs de rivets, et que les rivets ne supportent pas un effort de plus de 50 p. 100 supérieur à celui qui résulterait du cisaillement simple, que les chaudières, enfin, ont pu être soumises à l'inspection des contrôleurs, pendant *toute* la durée de la construction, quand toutes ces conditions sont réunies, le nombre 6 peut être adopté comme facteur de sécurité. Néanmoins, les chaudières doivent être éprouvées, au moyen de la presse hydraulique, au double de la pression de régime, en présence et à la satisfaction des contrôleurs du *Board of Trade*.

Mais quand les conditions ci-dessus énumérées ne sont pas remplies, le facteur 6 *doit* être augmenté des nombres, indiqués dans le tableau ci-dessous, correspondant aux cas qui peuvent se présenter.

(*) Traduction de la circulaire n° 755. $\frac{\text{M. } 4.596}{1873}$ & $\frac{11.410}{1874}$.

	A AJOUTER au facteur 6.	
A	0,15	Quand tous les trous sont corrects et régulièrement percés dans les coutures longitudinales, mais qu'ils ont été percés au foret avant l'assemblage et après le cintrage.
B	0,30	Quand tous les trous sont corrects et régulièrement percés dans les coutures longitudinales, mais qu'ils ont été percés au foret avant l'assemblage et avant le cintrage.
C	0,30	Quand tous les trous sont corrects et régulièrement percés dans les coutures longitudinales, mais qu'ils ont été percés au poinçon après le cintrage.
D	0,50	Quand tous les trous sont corrects et régulièrement percés dans les coutures longitudinales, mais qu'ils ont été percés au poinçon avant le cintrage.
E *	0,75	Quand tous les trous ne sont pas corrects et régulièrement percés dans les coutures longitudinales.
F	0,10	Quand les trous sont tous corrects et régulièrement percés dans les coutures transversales, mais percés au foret avant l'assemblage et après le cintrage.
G	0,15	Quand les trous sont corrects et percés régulièrement dans les coutures transversales, mais forés avant le cintrage.
H	0,15	Quand les trous sont corrects et percés régulièrement dans les coutures transversales, mais percés au poinçon après le cintrage.
I	0,20	Quand les trous sont corrects et percés régulièrement dans les coutures transversales, mais percés au poinçon avant le cintrage.
J *	0,20	Quand les trous ne sont pas corrects et percés régulièrement dans les coutures transversales.
K	0,20	Quand les coutures longitudinales ne sont pas pourvues de doubles couvre-joints et qu'elles sont à clin et rivées à deux rangs de rivets.
L	0,10	Quand les coutures longitudinales ne sont pas pourvues de doubles couvre-joints et qu'elles sont à clin et rivées à trois rangs de rivets.
M	0,30	Quand les coutures longitudinales sont pourvues de couvre-joints simples et qu'elles sont rivées à deux rangs de rivets.
N	0,15	Quand les coutures longitudinales sont pourvues de couvre-joints simples et rivées à trois rangs de rivets.
O	1,00	Quand il y a une couture longitudinale quelconque rivée à un seul rang de rivets.
P	0,10	Quand les coutures transversales sont pourvues de couvre-joints simples et rivées à deux rangs de rivets.
Q	0,20	Quand les coutures transversales sont pourvues de couvre-joints simples et rivées à un seul rang de rivets.
R	0,10	Quand les coutures transversales sont pourvues de couvre-joints doubles et rivées à un seul rang de rivets.
S	0,10	Quand les coutures transversales sont à clin et rivées à deux rangs de rivets.
T	0,20	Quand les coutures transversales sont à clin et rivées à un seul rang de rivets.
U	0,25	Quand les coutures transversales sont à clin et que le recouvrement n'est pas fait dans un seul et même sens.
V	0,30	Quand les coutures transversales ne sont pas pourvues de doubles couvre-joints et rivées à deux rangs de rivets. Quand la chaudière est d'une longueur telle qu'on doive la chauffer par les deux extrémités ou qu'elle est d'une longueur inusitée, comme les chaudières à carneaux intérieurs.
W *	0.40	Quand les joints ne sont pas convenablement croisés.
X *	0,40	Quand il y a des doutes sur la qualité du fer, que le contrôleur ne le considère pas comme de la meilleure qualité.
Y	1,65	Quand la chaudière n'a pas été soumise à l'inspection du contrôleur pendant toute la durée de sa construction.

* Dans les cas marqués d'une *, le nombre à ajouter au facteur de sécurité peut être augmenté si la main-d'œuvre ou la qualité des matériaux laisse beaucoup à désirer.

La résistance des joints se détermine par la méthode suivante :

$$\frac{\text{...artement d'axe en axe — Diamètre des rivets)} \times 100}{\text{Ecartement d'axe en axe.}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Rapport de la résistance de la tôle au joint,} \\ \text{à la résistance de la même tôle hors du} \\ \text{joint. — Celle-ci étant supposée égale} \\ \text{à 100.} \end{array} \right.$$

$$\frac{\text{...on des rivets} \times \text{Nombre de rangs de rivets} \times 100}{\text{...cartement d'axe en axe} \times \text{Epaisseur de la tôle.}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Rapport de la résistance des rivets à la} \\ \text{résistance de la tôle hors du joint. —} \\ \text{Celle-ci étant supposée égale à 100 (1).} \end{array} \right.$$

(1) Quand les rivets travaillent par double cisaillement, ce rapport doit être multiplié par 1,5.

La résistance du fer étant admise comme égale à 23 tonnes ou 51.520 livres par pouce carré, on prend, pour représenter la résistance du joint, le plus faible des deux rapports ci-dessus et l'on adopte, pour la valeur du facteur de sécurité, le nombre qui résulte de l'application des indications du précédent tableau ; la charge P des soupapes de sûreté, en livres, par pouce carré, est alors déterminée par la formule suivante :

$$P = \frac{51520 \times \text{résistance du joint} \times \text{deux fois l'épaisseur de la tôle en pouces.}}{\text{Diamètre intérieur de la chaudière en pouces} \times \text{facteur de sécurité.}}$$

Les tôles qui ont été forées sur place *doivent* être démontées, les bavures enlevées et les trous légèrement fraisés à l'extérieur.

Les couvre-joints *doivent* être pris dans les tôles (et *non* dans des barres de fer plat), et doivent être d'aussi bonne qualité que les tôles de l'enveloppe ; pour les joints longitudinaux, ils *doivent* être débités dans le travers des feuilles. Les trous de rivets, dans les couvre-joints, peuvent être percés au foret ou au poinçon, selon qu'ils sont percés au foret ou au poinçon dans les tôles avant l'assemblage ; mais quand ils ont été percés sur place, les couvre-joints doivent être démontés, les bavures enlevées et les trous légèrement fraisés à l'extérieur.

Quand on emploie des couvre-joints simples et que les trous des rivets y sont percés au poinçon, leur épaisseur *doit* être de $\frac{1}{8}$ plus forte que celle des tôles qu'ils recouvrent.

Le diamètre des rivets ne *doit* pas être inférieur à l'épaisseur des feuilles dont se compose l'enveloppe, mais quand les plaques sont minces ou quand on fait usage de joints à clin ou de couvre-joints simples, il est nécessaire que le diamètre des rivets soit supérieur à l'épaisseur des tôles.

Signé Thomas GRAY.

CHRONIQUE.

Juin 1876.

N° 30

Exposition universelle de Philadelphie. — La *Société américaine des ingénieurs civils* nous demande de faire connaître qu'elle tiendra sa huitième assemblée générale à Philadelphie, dans le bâtiment principal de l'Exposition, galerie de l'Ouest, du 13 au 15 juin. Elle invite à y assister ceux des membres du corps des ponts et chaussées que l'Exposition aura pu attirer, d'ici là, de l'autre côté de l'Atlantique; elle s'applaudirait qu'ils voulussent bien venir prendre part à ses délibérations. E. M.

Nouvelles formules de quadratures. — Plusieurs formules servent, dans la pratique, à calculer des quadratures par approximation. Si l'on considère la base divisée en un nombre pair de parties égales entre elles et désignées par h, et si y_0, y_1, y_2.... y_{2n} sont les ordonnées correspondantes, la formule des trapèzes donne la formule approximative suivante :

$$T = h\left[(y_0 + y_1 \ldots\ldots + y_{2n}) - \frac{1}{2}(y_0 + y_{2n})\right].$$

La formule de Poncelet est

$$\Sigma = h\left[2(y_1 + y_3 \ldots\ldots + y_{2n-1}) + \frac{1}{4}(y_0 + y_{2n}) - \frac{1}{4}(y_1 + y_{2n-1})\right].$$

Enfin la formule de Simpson est

$$S = \frac{1}{3}h[2(y_0 + y_2 \ldots\ldots + y_{2n}) + 4(y_1 + y_3 \ldots\ldots + y_{2n-1}) - (y_0 + y_{2n})].$$

Ces formules ont déjà été modifiées à diverses reprises, soit dans le but d'arriver à une plus grande approximation, soit dans le but de simplifier les calculs.

Ainsi M. Leclert, ingénieur des constructions navales, a donné une *formule des trapèzes modifiés* (*), qui est

$$T_1 = T + \frac{h}{16}(y_1 + y_{2n-1} - y_0 - y_{2n}),$$

et qui est plus approchée que la formule des trapèzes.

D'autre part, M. Catalan a donné la formule suivante, qui est une modification de la formule de Simpson :

$$S_1 = h\left[(y_0 + y_1 \ldots\ldots + y_{2n}) - \frac{5}{8}(y_0 + y_{2n}) + \frac{1}{6}(y_1 + y_{2n-1}) - \frac{1}{24}(y_2 + y_{2n-2})\right].$$

M. le général du génie Parmentier a présenté au congrès tenu à Nantes (août 1875) par l'association française pour l'avancement des sciences, une étude sur la comparaison des diverses méthodes d'approximation dont nous venons de parler. Nous extrayons des épreuves des comptes rendus de la session, qui nous ont été communiquées, les résultats suivants :

En étudiant analytiquement les aires inscrites et circonscrites comparées à l'aire de la courbe, le général Parmentier arrive à proposer, pour remplacer la formule de Poncelet, la formule suivante :

$$\Sigma_1 = \left[2(y_1 + y_3 \ldots\ldots + y_{2n-1}) + \frac{1}{6}(y_0 + y_{2n}) - \frac{1}{6}(y_1 + y_{2n-1})\right].$$

Cette formule, de même forme que la formule de Poncelet, est plus approchée : la limite de l'erreur commise, qui s'exprime géométriquement comme dans la formule de Poncelet, est réduite dans le rapport de 3 à 2.

M. le général Parmentier a comparé d'autre part la nouvelle formule qu'il propose à celle de Simpson, et il conclut que les résultats qu'elle fournit doivent différer fort peu ; que cette nouvelle formule exige un moindre nombre d'ordonnées ($n + 2$ au lieu de $2n + 1$) et présente enfin l'avantage de permettre de déterminer *à priori* une limite supérieure de l'erreur.

Dans des applications numériques de ces diverses formules correspondant à des courbes dont on avait pu déterminer rigoureusement l'aire, M. le général Parmentier a reconnu que la formule qu'il propose est toujours supérieure aux autres, si ce n'est à la formule Simpson, avec laquelle elle partage le premier rang sous

---

(*) *Annales du génie civil*, 1868.

le rapport de l'exactitude. Mais tandis que la formule de Simpson est souvent moins exacte que la formule Poncelet ou que celle des trapèzes circonscrits, la formule de M. le général Parmentier, lorsqu'elle n'est pas la plus exacte, arrive au second rang.

Bac à vapeur sur le lac de Constance. — Un premier essai de bac à vapeur (1868), construit à Zurich pour permettre aux trains circulant sur les voies ferrées de traverser le lac sans qu'il fût nécessaire de transborder les marchandises, a donné des résultats assez satisfaisants pour que l'on vienne de lancer sur le lac de Constance un nouveau bac destiné à relier en diagonale Romanshorn à Lindau (25 kilomètres), en évitant le chemin de fer de ceinture du lac, dont le trajet est double.

Les *Annales industrielles* fournissent à ce sujet les renseignements suivants:

Les difficultés pratiques étaient principalement: le faible tirant d'eau, qui s'abaisse souvent à $1^m,80$ à l'entrée de ports si étroits que des bateaux de 75 mètres n'y peuvent tourner; l'abordage difficile à cause des crues de $3^m,60$, et les bourrasques subites, dangereuses pour des bateaux chargés du poids d'un train (18 wagons).

Ces difficultés ont été vaincues par l'emploi d'un bateau ayant un tirant d'eau maximum de $1^m,70$; la longueur est de 73 mètres, la largeur de 11 mètres; largeur extérieure des tambours, 18 mètres. Le bateau est en tôle et cornière, divisé en neuf cloisons étanches; les deux extrêmes sont destinées aux réservoirs d'eau que des prises d'eau peuvent emplir et des pompes centrifuges peuvent vider à volonté. Ces réservoirs servent à équilibrer le chargement et à rendre variable le niveau du pont à l'abordage; l'abordage se fait à l'aide de plans inclinés mobiles. Enfin des hélices de secours indépendantes permettent une grande précision et une facilité particulière pour les manœuvres en même temps qu'elles constituent une force additionnelle qui peut être utile en cas de tempête.

Deux voies ferrées distantes de $1^m,83$ sont établies sur le pont, et peuvent recevoir de seize à vingt wagons, constituant une charge utile d'environ 300 tonnes. Une passerelle centrale domine le pont de 5 mètres; le capitaine et le timonier dirigent les mouvements de ce point élevé, où se trouvent un signal de brouillard et divers organes accessoires.

Les roues à aubes ont $4^m,80$ de diamètre; elles sont actionnées par des moteurs indépendants (machines de Woolf à cylindres

oscillants); les chaudières à retour de flamme fournissent de la vapeur à 5 atmosphères.

La durée du trajet (25 kilomètres) est de une heure et demie et la consommation de la houille est de 0t,6.

Consommation de rails en France en 1875. — Nous trouvons dans les *Annales industrielles* des indications que nous résumons sur les quantités de rails en fer et en acier que les diverses compagnies de chemins de fer français ont fait recevoir aux usines en 1875.

DÉSIGNATION DES COMPAGNIES.	RAILS EN FER.	RAILS EN ACIER.	TOTAL.
	kilog.	kilog.	kilog.
Chemin de fer du Nord.	2.500.000	38.604.000	41.104.000
Chemin de fer de l'Ouest. . . .	1.795.400	11.999.100	13.794.500
Chemin de fer d'Orléans. . . .	28.000.000	9.000.000	37.000.000
Chemin de P.-L.-M.	22.088.000	50.747.000	72.835.000
Chemin de fer de l'Est.	8.207.000	2.610.000	10.817.000
Chemin de fer du Midi.	20.095.000	2.470.000	22.565.000
Compagnies diverses.	14.203.619	5.230.694	19.434.313
Totaux.	96.889.019	120.660.794	217.549.813

En 1874, la quantité de rails en fer s'était élevée à 125.667.201 kil.; pour les rails en acier à 102.227.760 kilog., soit un total de 227.894.961 kilog.

Il y a donc en somme une diminution totale de 10.000 tonnes pour l'année 1875 : diminution qui s'élève à près de 29.000 tonnes pour les rails en fer, tandis qu'il y a une augmentation de 18.000 tonnes sur les rails en acier.

C. M. G.

TABLES

DES MÉMOIRES ET DOCUMENTS

PUBLIÉS

DURANT LE 1er SEMESTRE DE 1876.

PREMIÈRE TABLE.

RÉCAPITULATION DES ARTICLES PAR ORDRE D'INSERTION.

NUMÉROS des articles.	RAPPEL des cahiers.	INDICATION DES ARTICLES.	NUMÉROS des pages.	NUMÉROS des planches.
1	1	Notes recueillies dans une mission en Angleterre (1874) par MM. Poulet et Luneau, élèves ingénieurs des ponts et chaussées; analyse et extraits par M. Gariel, ingénieur des ponts et chaussées :		
		1° Nouveau rouleau compresseur.	5	2
		2° L'Albert Bridge, à Londres.	9	2
		3° Comble de la station de Saint-Pancrace (Midland Rw).	17	3
		4° Tramway à voie entièrement métallique du port de Glascow.	28	3
		5° Bateau-porte du nouveau bassin de radoub de Greenock.	30	3
2	1	Alimentation en eau du fort Saint-Michel, à Toul : Notice par M. A. Picard, ingénieur des ponts et chaussées	33	1
3	1	Instructions sur les *opérations* à faire pour la délimitation des cours d'eau navigables : note par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées.	67	
4	1	Recensement de la circulation sur les routes; application du comptage ambulant : note par M. Laterrade, ingénieur en chef des ponts et chaussées.	71	
		Chronique [Janvier 1876] :		
5	1	Société amicale de secours des anciens élèves de l'Ecole polytechnique : Discours prononcé à l'assemblée annuelle par M. Caillaux, ministre des travaux publics.	99	
6	1	M. de Bétancourt.	103	

NUMÉROS des articles.	RAPPEL des cahiers.	INDICATION DES ARTICLES.	NUMÉROS des pages.	NUMÉROS des planches.
7	1	Bibliographie : notice biographique sur feu M. J. Callon, inspecteur général des mines, par M. Jacquin, ingénieur en chef des ponts et chaussées; analyse.	105	
8	2	Chemins de fer français. — Note sur les sommes déversées par les six grandes compagnies, au profit du nouveau réseau, de 1864 à 1873; par M. L. Aucoc, président de section au Conseil d'Etat.	109	
9	2	Note sur les calculs de stabilité des poutres continues reposant sur plus de deux points d'appui et ayant des moments d'inertie variables dans les différentes sections verticales; par M. Kleitz, inspecteur général des ponts et chaussées.	115	
10	2	Notes recueillies dans une mission en Angleterre (1874) par MM. Poulet et Luneau, élèves ingénieurs des ponts et chaussées : analyse et extraits par M. Gariel, ingénieur des ponts et chaussées (*suite*) :		
		6° Chemins de fer. — Appareils de manœuvres des aiguilles et des signaux à la station de Cannon-Street (Londres).	150	4
		7° Appareils de sûreté pour les aiguilles. . . .	158	4
		8° Cabestans hydrauliques.	163	4
		9° Nouveaux murs de quai du port de Glascow.	168	5
11	2	Application des équations générales de la résistance des matériaux au problème de la stabilité des voûtes; par M. de Perrodil, ingénieur des ponts et chaussées.	178	5
12	2	Note sur les gisements actuels de guano au Pérou; par MM. Léon et Alfred Durand-Claye, ingénieurs des ponts et chaussées.	223	
		Chronique [Février 1876] :		
13	2	Dragages de la rade de Port-Saïd. — Emploi de la dynamite dans les travaux de dérochement et de démolition d'ouvrages en maçonnerie. — Consolidation de remblais argileux. — Réparation de maçonneries par des injections de mortier. — Chemins de fer et tramways : renseignements statistiques.	233	
14	3	De la propriété des alluvions dites *artificielles* : note par M. Schlemmer, ingénieur en chef des ponts et chaussées.	241	
15	3	Barrages mobiles à forte chute : mémoire par M. Boulé, ingénieur des ponts et chaussées. . . .	320	6
16	3	Exploitation du chemin de fer de Perpignan à Prades : note par M. Normand, ancien élève externe de l'Ecole des mines.	375	
		Chronique [Mars 1876] :		
17	3	Exposition universelle de Philadelphie.	305	

NUMÉROS des articles.	RAPPEL des cahiers.	INDICATION DES ARTICLES.	NUMÉROS des pages.	NUMÉROS des planches.
		Chronique [Mars 1876] (*Suite*) :		
18	3	Les wagons-lits du colonel Mann. — La voiture à vapeur de M. Bollée (du Mans). — Rupture d'une digue de réservoir. — Nouveau système de pont mobile. — Appareil élévatoire pour les bateaux. — Grue flottante.	306	
19	4	Étude sur la baie de Saint-Jean-de-Luz ; par M. Bouquet de la Grye, ingénieur hydrographe de la marine.	395	7, 8
20	4	Le canal de l'Est : note par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées.	459	9
21	4	Détermination graphique des moments de flexion d'une poutre à plusieurs travées solidaires ; par M. G. Fouret, ancien élève de l'École polytechnique.	473	8
		Chronique [Avril 1876] :		
22	4	Exposition universelle de Philadelphie.	497	
		Sifflet automoteur pour locomotive. — Abonnements kilométriques sur le chemin de fer de Lausanne à Echallens. — Pont de Riga sur la Düna.	497	
23	5	Assainissement de Berlin : note par M. Mille, inspecteur général des ponts et chaussées.	501	10
24	5	Endiguements de la Durance : étude par M. Hardy, ingénieur en chef des ponts et chaussées	518	11
25	5	De quelques travaux récents relatifs à la théorie des voûtes : note par M. Ed. Collignon, ingénieur des ponts et chaussées.	539	
		Chronique [Mai 1876] :		
26	5	Double décimètre de M. Castelnau. — Hydraulique des grands fleuves. — Chemins de fer (statistique). — Locomotive à air comprimé. — Action de la chaleur sur les ponts métalliques. — Bibliographie.	545	
27	6	Rapport au préfet de la Seine sur les travaux de la commission chargée d'examiner les questions qui se rattachent à l'assainissement des Halles centrales de Paris.	553	12
28	6	Notice sur la construction et les prix de revient des chemins de fer secondaires de Valkany à Perjamos et de Vojtek à Bogsan (Hongrie) ; par M. Fournier, inspecteur général de la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État.	603	13
29	6	Instructions données par le *Board of Trade* pour la détermination de la pression dans les chaudières à vapeur cylindriques.	627	
		Chronique [Juin 1876] :		
30	6	Exposition universelle de Philadelphie. — Nouvelles formules de quadratures. — Bac à vapeur sur le lac de Constance. — Consommation des rails en France en 1875.	631	

DEUXIÈME TABLE.

ANALYSE DES MATIÈRES PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

A

Abonnement kilométrique (chemin de fer de Lausanne à Echallens), p. 499.

Accumulateur, p. 153.

Aiguilles de chemins de fer, p. 130.

Air comprimé (locomotive à), p. 547.

Albert-Bridge, p. 9.

Alimentation en eau du fort Saint-Michel. — Notice par M. Picard, ingénieur des ponts et chaussées, p. 33 à 66.

Chap. I. Évaluation des besoins et choix du mode d'alimentation, p. 33. — Chap. II. Conduite ascensionnelle, p. 36. — Chap III. Pompe, p. 41. — Chap. IV. Turbine, p. 47. — Chap. V. Transmission de mouvement. — Réservoir d'air, p. 54. — Chap. VI. Bâtiment des machines, p. 56. — Chap. VII. Epreuves, p. 58. — Chap. VIII. Mode d'exécution et dépenses de premier établissement, p. 63. — Conclusions, p. 65, Pl. 1.

Alluvions (propriété des), p. 241.

Angleterre (mission en). Notes recueillies par MM. Poulet et Luneau, élèves ingénieurs des ponts et chaussées; Analyse et extraits par M. Gariel, ingénieur des ponts et chaussées, p. 5 à 32 et 150 à 177.

I. Nouveau rouleau compresseur pour cylindrage des chaussées, p. 5. — II. L'Albert Bridge, p. 9. — III. Comble de la station de Saint-Pancrace (Midland Railway), à Londres, p. 17. — IV. Tramways à voie entièrement métallique du port de Glascow, p. 28. — V. Bateau porte de la nouvelle forme de radoub de Greenock, p. 30. — VI. Chemins de fer. — Appareils de manœuvre des aiguilles et des signaux à la station de Cannon street (Londres), p. 150. — VII. Appareils de sûreté pour les aiguilles, p. 158. — VIII. Cabestans hydrauliques, p. 163. — IX. Nouveaux murs de quai du port de Glascow, p. 168. Pl. 2, 3, 4 et 5.

Armstrong, p. 163.

Assainissement de Berlin. Règlements et travaux : note par M. Mille, inspecteur général des ponts et chaussées, p. 501 à 514.

1. Exposé, p. 501. — 2. La distribution d'eau à Vienne, p. 501. — 3. Assainissement de Berlin. Etat actuel, p. 502. — 4. Principes d'assainissement, p. 504. — 5. Règlements sur l'assainissement des habitations, p. 505. — 6. Canalisation des voies publiques, p. 507. — 7. Service des machines, p. 508. — 9. Résumé et conclusions, p. 512.

Documents annexes. I. Ordonnance de police, p. 514. — II. Arrêté du maire, p. 516. — III. Prescriptions de police, p. 517, pl. 10.

Assainissement des Halles centrales de Paris. Rapport à M. le préfet de la Seine sur les travaux de la Commission chargée d'examiner les questions qui se rattachent à cet assainissement, p. 553 à 602.

Origine et composition de la Commission, p. 553. — Point de départ et programme sommaire des travaux de la Commission, p. 554. — Description générale des Halles centrales, p. 555. — Discussion relative à l'insalubrité des Halles, p. 563. — Moyens employés actuellement pour prévenir ou atténuer les causes d'infection, p. 567. — Améliorations proposées dans le service du nettoiement, p. 568. — Etude de nouveaux aménagements intérieurs, p. 572. — Assainissement des latrines existantes, p. 574. — Perfectionnements à introduire dans quelques agencements accessoires, p. 575. — Système général de ventilation à adopter, p. 576. — Mesures de police relatives à l'assainissement, p. 580. — Dépenses que comporte l'assainissement des Halles, p. 581. — Résumé et conclusions, p. 582.

Annexes : Liste des principaux ouvrages à consulter pour l'étude

des questions relatives à l'assainissement des Halles, p. 584. — Rapport d'une Sous-Commission spéciale sur les projets présentés et sur les moyens employés pour assainir les sous-sols par des procédés de ventilation, p. 585. — Note sur les résultats obtenus par le liquide désinfectant, p. 598. — Composition du liquide désinfectant expérimenté aux Halles, p. 601. — Légende explicative des différents services concentrés dans les Halles centrales, p. 601, Pl. 12

AUCOC. Les chemins de fer français. Sommes déversées par les six grandes Compagnies au profit du nouveau réseau de 1864 à 1875, p. 109.

Aveling et Porter, p. 6.

B

Bac à vapeur sur le lac de Constance, p. 633.

Baie de Saint-Jean-de-Luz. Étude par M. Bouquet de La Grye, ingénieur hydrographe de la marine, p. 395 à 458.

Chap. I. Actions extérieures, p. 395. — Chap. II. Actions intérieures, p. 410. — Chap. III. Description des états antérieurs de la baie de Saint-Jean-de-Luz. Comparaison des lignes de niveau; courbes des maxima d'érosion. Comparaison des surfaces et des volumes, p. 423. — Chap. IV. Avenir de la baie après l'achèvement des digues. Améliorations de la Nivelle et du Socoa, p. 451. Pl. 7 et 8.

Barlow, p. 17.

Barrages mobiles à forte chute : mémoire sur un nouveau système de barrage mobile fermé par des vannes et des fermettes, par M. Boulé, ingénieur des ponts et chaussées, p. 320 à 374.

Exposé, p. 320.

Chap. I. Description générale du barrage à fermettes et vannes et justification des dispositions proposées.

§ 1. Substitution de vannes ordinaires aux aiguilles des barrages de M. Poirée, p. 322. — § 2. Manœuvres des vannes. — Facilités et avantages nombreux qu'elles présentent, p. 326. — § 3. Dimensions et dispositions des vannes, p. 333. — § 4. Dispositions diverses. — Vannes automobiles, p. 336. — § 5. Dimensions des fermettes. — Hauteur des retenues, p. 341. — § 6. Résistance des fermettes, p. 345. — § 7. Entretoisement des fermettes successives. — Augmentation postérieure du niveau de la retenue, p. 351.

Chap. II. Application au barrage de Port-à-l'Anglais. — Expériences.

§ 1. Dispositions adoptées pour les expériences, p. 354. — § 2. Expériences, p. 360. — Résumé, p. 370, Pl. 6.

Bateau-porte de Greenock, p. 30.

Bateaux (appareil élévatoires pour les), p. 392.

Berlin (assainissement de), p. 501.

Bétancourt (de), p. 103.

Bibliographie, p. 549.

Biographie. Notice sur M. J. Callon, par M. Jacqmin, ingénieur en chef des ponts et chaussées; Note analytique par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées, p. 105.

Board of Trade. Voir Chaudières à vapeur, p. 627.

Bollée. Voiture à vapeur. p. 388.

BOULÉ. Nouveau système de barrage mobile fermé par des vannes et des fermettes, p. 320.

BOUQUET DE LA GRYE. Étude sur la baie de Saint-Jean-de-Luz, p. 395.

Bulletin bibliographique, p. 549.

C

Cabestans hydrauliques, p. 163.

Caillaux. Discours, p. 99.

Callon. Notice biographique, par M. Jacqmin, ingénieur en chef des ponts et chaussées; note analytique par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées, p. 105 à 108.

Canal de l'Est. Note par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées. p. 459 à 472.

I. Renseignements techniques, p. 459. — II. Renseignements financiers, p. 465. — III. Résumé, p. 470, pl. 9.

Canaux. Appareil élévatoire pour les bateaux, p. 392.

Castelnau (double décimètre), p. 545.

Chaleur (action de la) sur les ponts métalliques, p. 548.

Chaudières à vapeur. — (Instructions données par le *Board of Trade* pour la détermination de la pression dans les), p. 627.

Chemins de fer. — Voir Aiguilles, p. 152.
Chemins de fer français. Note sur les sommes déversées par les six grandes compagnies de chemins de fer, au profit du nouveau réseau de 1864 à 1875; par M. Aucoc, président de section au Conseil d'État, p. 109 à 114.
Chemins de fer. Statistique : États-Unis, p. 238; Angleterre, p. 239, 546; Russie, p. 239; Indes, p. 239; Suisse, p. 546; Allemagne, p. 546.
— Exploitation. Voir Résultats économiques, p. 375.
— Wagons-lits, p. 386.
— Sifflet automoteur, p. 497.
— suisses. Abonnements kilométriques, p. 499.
Chemins de fer secondaires de Valkany à Perjamos et de Vojtek à Bogsan (Hongrie). Notice sur la construction et les prix de revient, par M. Fournier, inspecteur général de la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'Etat, p. 603 à 626.
Considérations générales, p. 604. — I. Conditions spéciales des actes de concession des lignes secondaires, p 608. — II. Ligne de Valkany à Perjamos, p. 609. — III. Ligne de Vojtek à Bogsan, p. 618. — IV. Tableau comparatif des dépenses des deux lignes, p. 623. — V. Résultats généraux des deux lignes, p. 624. — Observations sur les résultats généraux, p. 624.
— Consommation de rails en France, p. 634.

Chronique :

Janvier. Société amicale de secours des anciens élèves de l'École polytechnique. Discours du ministre des travaux publics, p. 99. — M. de Bétancourt, p. 103.
Février. Dragages de la rade de Port-Saïd, p. 233. — Consolidation de remblais argileux, p. 236. — Réparation de maçonneries par l'injection de mortier clair ou de ciment, p. 237 — Chemins de fer et tramways. Statistique, p. 238.
Mars. Exposition universelle de Philadelphie, p. 385. — Les wagons-lits du colonel Mann, p. 386. — La voiture à vapeur de M. Bollée, du Mans, p. 388. — Rupture d'une digue de réservoir, p. 389. — Nouveau système de pont mobile, p. 390. — Appareil élévatoire pour les bateaux, p. 392. — Grue flottante, p. 392.
Avril. Exposition universelle de Philadelphie, p. 497. — Sifflet automoteur pour locomotive, p. 497. — Abonnement kilométrique sur le chemin de fer de Lausanne à Echallens, p. 499. — Pont de Riga sur la Düna, p. 499.
Mai. Double décimètre de M. Castelnau, p. 545. — Hydraulique des grands fleuves, le Parana, l'Uruguay et le bassin de la Plata, p. 545. — Chemins de fer. — Statistique, p. 546. — Locomotive à air comprimé, p. 547. — Action de la chaleur sur les ponts métalliques, p. 548.
Juin. Exposition universelle de Philadelphie, p. 631. — Nouvelles formules de quadratures, p. 631. — Bac à vapeur sur le lac de Constance, p. 633. — Consommation de rails en France en 1875, p. 634.

COLLIGNON. Théorie des voûtes, p. 539.
— p. 481.
Comble de la station de Saint-Pancrace, p. 17.
Comptage ambulant. Voir Recensement de la circulation sur les routes, p. 71.
Consolidation de remblais, p. 236.
Consommation de rails en France en 1875, p. 634.
Constance (lac de). Bac à vapeur, p. 633.
Construction des chemins de fer secondaires de la Hongrie. — Prix de revient, p. 603.
Cours d'eau navigables. Voir Délimitation, p. 67.

D

Décimètre (double), perfectionnements, p. 545.
Délimitation des cours d'eau navigables : note par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées, p. 67 à 70.
— des îles, p. 315.
Demont. Note sur les résultats obtenus par le liquide désinfectant de MM. Rousseau, p. 598.
Désinfection. Voir Assainissement des Halles centrales, p. 553.

Déversoir. Voir Chemins de fer français, p. 109.
Digue de réservoir (rupture d'une), p. 389.
Dragages de la rade de Port-Saïd, p. 233.
Duna (pont de Riga sur la), p. 499.
Durance (endiguements de la), p. 518.
DURAND-CLAYE (Léon et Alfred). Les gisements actuels de guano au Pérou, p. 223.
Durand-Claye (A.), p. 539.
Dynamite. Son emploi dans les travaux de roctage, p. 235.

E

Écluses mobiles, p. 392.
Efforts tranchants. Voir Moments de flexion, p. 492.
Égouts (eaux d'). Voir Assainissement de Berlin, p. 501.
Électricité. Voir Sifflet automoteur, p. 497.
Endiguements de la Durance dans le département de Vaucluse et dans la commune de Pertuis en particulier: étude par M. Hardy, ingénieur en chef des ponts et chaussées, p. 518 à 538, pl. 11.
Érosions dans la baie de Saint-Jean-de-Luz, p. 423.
Est (canal de l'), p. 459.
Exploitation du chemin de fer de Perpignan à Prades; résultats économiques, p. 375.
Exposition universelle de Philadelphie, p. 385, 497.

F

Farmer et Saxby, p. 152.
Fermettes (nouveau système de barrage à vannes et), p. 320.
Fleuves (hydraulique des), p. 545.
Fondations. Voir Quais de Glascow, p. 168.
Forest et Lartigue. Sifflet automoteur, p. 497.
Fort Saint-Michel (alimentation en eau du), p. 33.
FOURET. Détermination graphique des moments de flexion d'une poutre à plusieurs travées solidaires, p. 473.
FOURNIER. Construction et prix de revient des chemins de fer secondaires de Valkany à Perjamos et de Vojtek à Bogsan (Hongrie), p. 603.
Franqueville (de), p. 70.
Frécot, p. 472.

G

GARIEL. Analyse et extraits des notes recueillies dans une mission en Angleterre (1874), par MM. Poulet et Luneau, élèves ingénieurs des ponts et chaussées, p. 5 et 150.
Gisements actuels de guano au Pérou, p. 223.
Glascow (quais de), p. 168.
Greenock. — Bateau-porte, p. 30.
Grue flottante, p. 392.
Guano (gisements actuels de) au Pérou; note par MM. Léon et Alfred Durand-Claye, ingénieurs des ponts et chaussées, p. 223 à 231.
Exposé, p. 223. — Origine du guano, p. 223. — Division des gisements, p. 224. — Anciennes exploitations, p. 224. — Introduction du guano en Europe, p. 225. — Exploitation des îles de Chincha, p. 225. — Exploitation des gisements du Nord, p. 226. — Gisements du Sud, p. 227. — Conclusions, p. 231.

H

Halles centrales (Voir Assainissement des), p. 553.
HARDY. Étude sur les endiguements de la Durance, p. 518.
Hongrie. Voir Chemins de fer secondaires, p. 603.
Hydraulique des grands fleuves, p. 545.

I

Iles. Voir Délimitation, p. 315.
Injections de mortier clair ou de ciment, p. 237.

J

Jacqmin. Notice biographique sur M. Callon, p. 105.

K

Kinipple, p. 32.
KLEITZ. Calculs de stabilité des poutres continues, p. 115.

L

Lac de Constance (bac à vapeur sur le), p. 633.
LALANNE. Rapport à M. le préfet de la Seine sur les travaux de la commission chargée d'examiner les questions

qui se rattachent à l'assainissement des Halles centrales de Paris, p. 553.

Lartigue et Forest. Sifflet automoteur, p. 497.

LÂTERRADE. Application du comptage ambulant pour le recensement de la circulation sur les routes, p. 71.

Lausanne à Échallens (chemin de fer de). Abonnements, p. 499.

Lesseps (De), p. 233.

Locomotive (Sifflet automoteur pour), p. 497.

— à air comprimé, p. 547.

LUNEAU et POULET. Notes recueillies dans une mission en Angleterre (1874), p. 5 et 150.

M

MALÉZIEUX. Instructions pour les opérations relatives à la délimitation des cours d'eau navigables, p. 67.

— Note analytique sur une biographie de M. Callon, par M. Jacqmin, p. 105.

— Le canal de l'Est, p. 439.

Mann (colonel). Wagons-lits, p. 386.

MILLE. Note sur l'assainissement de Berlin, p. 501.

Milroy, p. 169.

Mission en Angleterre (1874). Voir p. 5 et 150.

Moments de flexion d'une poutre à plusieurs travées solidaires. Détermination graphique par M. Fouret, ancien élève de l'École polytechnique, p. 473 à 495.

Exposé, p. 473. — Chap. I. Méthode de fausse position, p. 474. — Chap. II. Méthode directe purement graphique, p. 481. — Chap. III. Application à la détermination des moments fléchissants sur les appuis d'un pont de 220 mètres à 4 travées, p. 488 — Chap. IV. Détermination graphique des moments fléchissants et des efforts tranchants aux divers points de chaque travée, p. 492. — Généralisation, p. 494, pl. 8.

N

NORMAND. Note sur les résultats économiques de l'exploitation du chemin de fer de Perpignan à Prades, p. 375.

O

Ordish, p. 11.

P

Paris. Voir Assainissement des Halles, p. 553.

Parmentier (colonel). Nouvelles formules de quadratures, p. 631.

Peaucellier, p. 540.

Pérou. Gisements de guano, p. 223.

Pérouse, p. 17.

Perpignan à Prades (chemin de fer de). Voir Résultats économiques, p. 375.

Perrier, p. 521.

PERRODIL (de). Théorie de la stabilité des voûtes, p. 178.

Philadelphie (Exposition universelle de), p. 385, 497, 631.

PICARD. Alimentation en eau du fort Saint-Michel, à Toul, p. 33.

Pont. L'Albert Bridge à Londres, p. 9.

— mobile (nouveau système de), p. 390.

— de Riga, sur la Düna, p. 499.

Ponts métalliques (action de la chaleur sur les), p. 548.

Porter et Aveling, p. 6.

Port-à-l'Anglais Voir Barrages mobiles à forte chute, p. 320.

Ports. Voir Quais de Glascow, p. 168.

Ports de mer. Voir Bateau-porte, p. 30.

— Voir Saint Jean de Luz, p. 395.

Port Saïd (dragages de la rade de), p. 233.

POULET ET LUNEAU. Notes recueillies dans une mission en Angleterre (1874), p. 5 et 150.

Poutres continues (calculs de stabilité des) reposant sur plus de deux points d'appui et ayant des moments d'inertie variables dans les différentes sections verticales : note par M. Kleitz, inspecteur général des ponts et chaussées, p. 115 à 149.

— droites. Voir Moments de flexion, p. 473.

Pression dans les chaudières à vapeur cylindriques, p. 627.

Propriété des alluvions dites artificielles ; note par M. Schlemmer, ingénieur en chef des ponts et chaussées, p. 241 à 319. — Considérations préliminaires, p. 241. — Jurisprudence de l'autorité judiciaire en matière d'alluvions artificielles, p. 263. — Résumé et conclusions, p. 287. — Annexes, arrêts divers, p. 291. — Remarques sur la délimitation des îles, p. 315.

Q

QUADRATURES (nouvelles formules de), p. 631.
QUAIS de Glascow, p. 168.

R

RAILS (consommation de) en France en 1875, p. 634.
RECENSEMENT de la circulation sur les routes. — Application du comptage ambulant : note par M. Laterrade, ingénieur en chef des ponts et chaussées, p. 71 à 98.
RÉGULATEUR d'air comprimé, p. 547.
REMBLAIS argileux (consolidation des), p. 236.
RÉSERVOIR (rupture d'une digue de), p. 389.
RÉSISTANCE des matériaux. Voir Poutres continues, p. 115. — Stabilité des voûtes, p. 178. — Moments de flexion, p. 473.
RÉSULTATS économiques de l'exploitation du chemin de fer de Perpignan à Prades. Note par M. Ch Normand, ancien élève externe de l'École des mines de Paris, p. 375 à 383.
Exposé, p. 375. — Description sommaire de la ligne, p. 375. — Personnel, p. 377. — Observations sur la composition des tableaux des dépenses et des recettes, p. 377.
RIBOUR, p. 547.
RICA (pont de), p. 499.
RIVIÈRES. Voir Alluvions, p. 241.
ROULEAU compresseur employé à Londres, p. 5.
ROUSSEAU. Liquide désinfectant, p. 598.
ROUTES. Recensement de la circulation, p. 71.

S

SAINT-GOTHARD (tunnel du mont), p. 547.
SAINT JEAN-DE-LUZ (baie de), p. 395.
SAXBY et FARMER, p. 152.
SCHLEMMER. Propriété des alluvions dites artificielles, p. 241.
SÉQUESTRE. Voir Chemins de fer, p. 375.
SIFFLET automoteur pour locomotive, p. 497.
SOCOA, p. 399.
STABILITÉ des voûtes (théorie de la). Application des équations générales de la résistance des matériaux au problème de la stabilité des voûtes, par M. de Perrodil, ingénieur des ponts et chaussées, p. 178 à 222.
Ire partie, p. 178. — IIe partie, p. 187, Pl. 5.
STABILITÉ des poutres continues, p. 125.
STATISTIQUE. Voir Chemins de fer, p. 238, 546, — Tramways, p. 240.
SUISSE. Abonnements kilométriques sur un chemin de fer, p. 499.

T

THÉORIE des voûtes (travaux récents), p. 539.
TRESCA, p. 388.
TRAMWAYS : Statistique, France, p. 240.

U

UTIQUE (pont mobile à), p. 390.

V

VANNAGE (nouveau) du barrage de Port-à-l'Anglais, sur la Seine, p. 320.
VANNES (nouveau barrage mobile à fermettes et), p. 320.
VÉE (Léonce). Rapport sur l'assainissement des sous-sols des Halles centrales par la ventilation, p. 585.
VENTILATION. Voir Assainissement des Halles, p. 553.
VIGUIER, p. 152.
VOITURE à vapeur de M. Bollée, p. 388.
VOUTES (note sur quelques travaux récents relatifs à la théorie des), par M. Ed. Collignon, ingénieur des ponts et chaussées, p. 539 à 544.
— Voir Stabilité, p. 178.

W

WAGONS-LITS du colonel Mann, p. 386.
WESMACOTT, p. 165.
WHIPPLE. Nouveau pont mobile, p. 390.
WILLIAMSBURG. Rupture d'une digue de réservoir, p. 389.

FIN DES TABLES DES MÉMOIRES DU 1er SEMESTRE DE 1876.

Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière et Ce, rue Racine, 26.

INT MICHEL

En

ndiculaire à l'axe suivant MN

385 600 1.068 300 328

755

mpe et du

de ordinaire 2.00